

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program B 2341- Strojírenství

Materiály a technologie

Zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Návrh procesu recyklace znečištěných odpadních plastů **Proposal of the process recycling polluted waste plastic** **material**

Jan Král

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Aleš Ausperger, Ph.D.

Konzultant: Pavel Kišidai – obchodní zástupce SK-EKO Systems s.r.o.

Rozsah práce a příloh:

Počet stran.....63
Počet tabulek.....6
Počet příloh.....5
Počet obrázků.....41

Datum: 25.5.2012



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení

Jan K R Á L

Studijní program

B2341 Strojírenství

Studijní obor

3911R018 Materiály a technologie

Zaměření

Tváření kovů a plastů

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářské práce na téma:

Návrh procesu recyklace znečištěných odpadních plastů

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Charakteristika používaných způsobů recyklace plastového odpadu a získané výstupy z procesu materiálové recyklace.
2. Zmapování požadavků a možností recyklační firmy SK - EKO s. r. o., Pardubice při recyklaci znečištěného plastového odpadu.
3. Návrh možného způsobu recyklace znečištěného odpadu a výběr vhodného zařízení.
4. Návrh umístění zařízení ve výrobních prostorech a ekonomické zhodnocení návratnosti investice. Vyhodnocení výsledků a jejich diskuse, závěr.





Forma zpracování bakalářské práce:

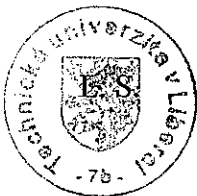
- průvodní zpráva: v rozsahu cca 30 stran
- přílohy: grafy, tabulky

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

- [1] ŠTĚPEK, J., ZELINGER, J., KUTA, A., *Technologie zpracování a vlastností plastů*, 1. Vydání Praha, Bratislava, SNTL, Alfa, 1989. 638 s. ISBN DT 678.5(075.8).
- [2] SOVA, M., KREBS, J. *Termoplasty v praxi, Praktická příručka pro: konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů*, Praha: Verlag Dashöfer, 2001. ISBN 80-86229-15-7.
- [3] ZEMAN, L. *Vstřikování plastů*, Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [4] Odborné články v časopisech.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Aleš Ausperger, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: Pavel Kišidai, SK - EKO s. r. o., Pardubice



prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
vedoucí katedry

doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.
děkan

V Liberci dne 17. 2. 2012

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data. (v uvedené lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ). Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.



ANOTACE

Technická univerzita v Liberci Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: B2341- Strojírenství

Student: Jan Král

Název práce: Návrh procesu recyklace znečištěných odpadních plastů

Proposal of the process recycling polluted waste plastic material

Vedoucí BP: Ing. Aleš Ausperger, Ph.D.

Konzultant: Pavel Kišidai – obchodní zástupce SK-EKO Systems s.r.o.

Abstrakt:

Cílem bakalářské práce Návrh procesu recyklace znečištěných odpadních plastů je navrhnout posloupný proces na recyklaci znečištěných odpadních plastů. Tento navržený proces, jehož výstupním produktem bude regranulát plastů, ekonomicky a funkčně zhodnotit. Ekonomické zhodnocení bude uvažováno na 1kg vyrobeného recyklátu. V teoretické části se nachází rozbor znalostí obecné recyklace plastů a zásady výroby regranulátu.

Experimentální část je popsána od prvotního roztřídění odpadních plastů až do závěrečné regranulace a sušení plastů. Součástí experimentální části je rozbor úkonů v jednotlivých navržených krocích, návrh a popis vybraných zařízení včetně umístění zařízení ve zvoleném prostoru zadavatele.

Abstract:

Aim of the baccalaureate work Proposal of the process recycling polluted waste plastic material is suggest successive suit on recycling polluted waste plastic material. This designed suit, whose check out product will re-granulate plastics, economically and functionally valorize. Economics upward revaluation will in view on 1kg made recycled material. In theoretic parts finds analysis knowledge common recycling plastics plus fundamentals production re-granulate.

Experimental part is circumscribed from primary distribution waste plastics until final re-granulation plus cure plastics. Part of experimental parts is analysis acts in single designed steps, proposal and description choice arrangement inclusive equipment laydown in elect space submitter.

Místopřísežné prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 25. května 2012

.....
Jan Král

Poděkování

Mé díky patří Ing. Aleši Auspergerovi, Ph.D. za příkladné vedení této práce a za vynikající spolupráci. Rád bych poděkoval i firmě SK- EKO systems s.r.o. za odbornou spolupráci a za poskytnutí všech potřebných informací. Nesmím zapomenout ani na svou rodinu, která mi po celou dobu byla oporou.

Obsah

Seznam zkratk a jednotek.....	9
1 Úvod	10
2 Teoretická část	11
2.1 Recyklace plastů	12
2.1.1 Druhy plastového odpadu ve výrobě	13
2.1.2 Druhy plastového komunálního odpadu	13
2.1.3 Výstupní surovina po recyklaci	15
2.1.4 Základní metody třídění plastů	16
2.1.4.1 Primární recyklace	16
2.1.4.1.1 Metody primární separace:	17
2.1.4.2 Sekundární recyklace	19
2.1.4.2.1 Metody sekundární recyklace:	19
2.1.4.3 Terciární recyklace	21
2.2 Výroba granulátu	22
2.2.1 Míchání a hnětení	22
2.2.1.1 Vlastní proces míchání a hnětení	22
2.2.1.2 Stroje pro míchání a hnětení.....	23
2.2.2 Mletí (drcení)	26
2.2.3 Proces granulace (regranulace)	27
2.2.3.1 Granulační metody	27
2.2.4 Stroje pro granulaci	29
2.2.5 Sušení plastů.....	30
3 Experimentální část	32
3.1 Specifikace znečištění plastového odpadu	33
3.1.1 Způsob znečištění.....	33
3.1.2 Druh a míra znečištění.....	33
3.1.3 Množství znečištěného odpadu dle druhu	34
3.2 Roztřídění znečištěného plastového odpadu dle druhu	35
3.2.1 Druhy zpracovávaných znečištěných plastů.....	35
3.2.2 Kritéria roztřídění znečištěných plastů.....	36
3.3 Možnosti zadavatele na vytvoření procesu, požadavky zadavatele k procesu	42
3.3.1 Možnosti zadavatele	42
3.3.2 Požadavky zadavatele k procesu	44
3.4 Návrh procesu recyklace	45
3.4.1 Roztřídění znečištěného plastového odpadu.....	45
3.4.2 Drcení – hrubá drť	46
3.4.3 Čištění	46
3.4.4 Filtrace hrubé drti od mycího média	47

3.4.5 Odkapání hrubé drti pomocí vibrací.....	47
3.4.6 Zpracování mycího média	48
3.4.7 Drcení – jemná drť.....	48
3.4.8 Regranulace	49
3.4.9 Sušení regranulátu	51
3.4.10 Příprava regranulátu zákazníkovi	51
3.5 Výběr vhodných zařízení	52
3.5.1 Předpoklady.....	52
3.5.2 Výčet zařízení.....	52
3.6 Rozbor docíleného úkonu jednotlivých zařízení	61
3.7 Umístění navržené linky v prostorách firmy, potřebné dopravní zařízení ..	64
4 Diskuze	66
5 Závěr.....	68
Seznam literatury	70
Seznam Příloh.....	73

Seznam zkratek a jednotek

ABS- akrylonitrilbutadienstyren	např.- například
apod.- apodobně	obr.- obrázek
a.s.- akciová společnost	PA- polyamid
atd.- a tak dále	PE- polyetylen
CH ₄ - metan	PET- polyetylentereftalát
CO- oxid uhelnatý	PP- polypropylen
CO ₂ - oxid uhličitý	PS- polystyren
č.- číslo	PU- polyuretan
ČSN- česká státní norma	PUR- polyuretan
DPH- daň z přidané hodnoty	PVC - polyvinylchlorid
H ₂ - vodík	s.- strana
H ₂ O- voda	s.r.o.- společnost s ručením
HD-PE- vysokohustotní polyetylen	omezením
kap.- kapitola	tab.- tabulka
Kč- koruna česká	tzn.- to znamená
LD-PE- nízkohustotní polyetylen	tzv.- tak zvaný
%- procento	Kj- kilojoule
°C- stupně Celsia	kW- kilowatt
μm- mikrometr	l- litr
h- hodina	mm- milimetr
Hm%- procento hmotnostního podílu	Mpa- megapascal
Kg- kilogram	t- tuna
Kg/h- kilogram za hodinu	V- volt
Kg/m ³ - kilogram na metr krychlový	

1 Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou recyklace znečištěných odpadních plastů. Součástí práce je teoretický rozbor potřebné tematiky – recyklace plastů a výroba granulátu. Druhá část se zabývá řešením samotného procesu recyklace za pomoci moderního strojního zařízení.

Před řešením zadané problematiky je třeba představit zadavatele. Firma SK-EKO s.r.o. Pardubice byla založena v roce 1998. Zabývá se službami v oblasti stavebnictví, demolice, kovošrotu a ekologické likvidace odpadu. Poslední zmíněnou službou se tato práce zabývá.

Firma vykupuje a zpracovává průmyslový plastový odpad, který v současné době poskytuje zákazníkům pouze jako drť z čistého průmyslového odpadu. Součástí výkupu je také znečištěný plastový odpad, a to jak prostředím, tak provozem. Tohoto odpadu je značné množství, proto se Firma rozhodla investovat do zařízení a vývoje procesu efektivního zpracování znečištěného odpadu, aby mohla zákazníkům nabídnout více surovin již ve formě reggranulátu.

Tento návrh obsahuje sled operací v procesu, a to roztřídění materiálu včetně vyřazení plastů s kovovými částmi nebo příměsí, očištění materiálu vhodným médiem, jednoduché osušení, drcení mlýnem a následný proces granulace, balení hotového materiálu zákazníkovi. Součástí práce je i výběr vhodných zařízení pro realizaci linky na recyklaci těchto plastů.

Prvním cílem této bakalářské práce je navrhnout posloupný proces na zpracování znečištěného plastového odpadu.

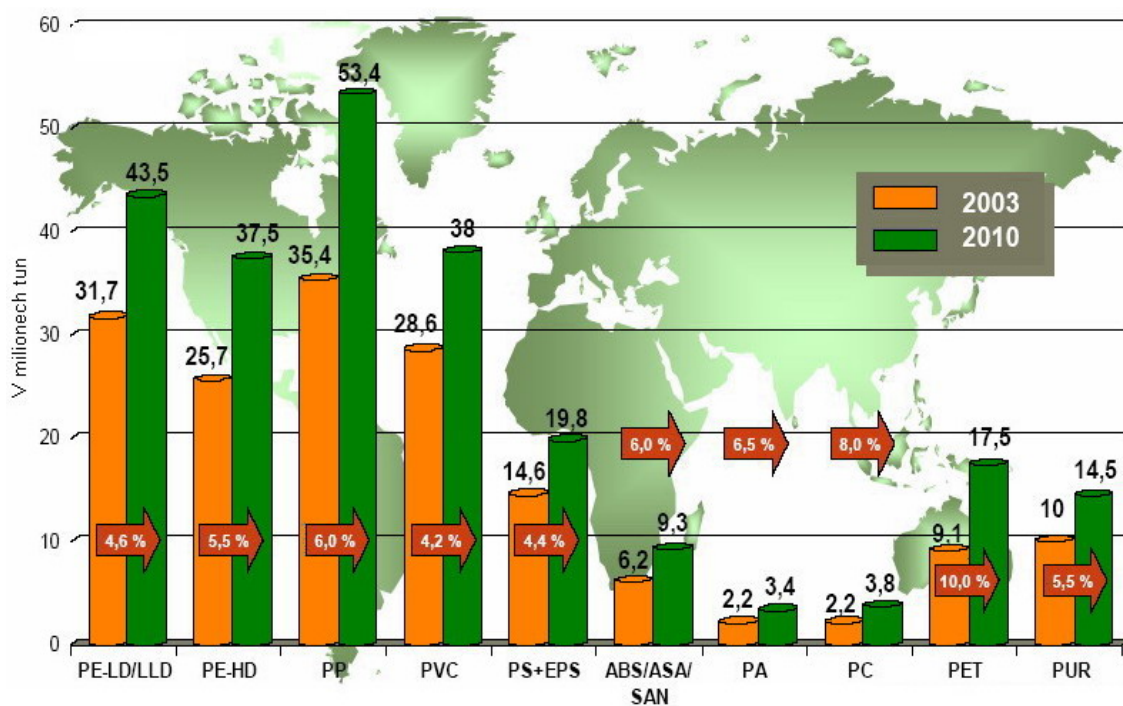
Druhým cílem je ekonomicky – funkční zhodnocení navrženého procesu a zařízení s ohledem na cenu nákladů na 1kg drti nebo granulátu.

2 Teoretická část

2.1 Recyklace plastů

Recyklovat plasty je v odvětví zpracování plastů nezbytné. Spotřeba plastů narůstá, proto je vhodné, aby recyklát zcela nahradil, tzn. panenský plast, ale za předpokladu, že kvalita je srovnatelná a náklady na výrobu recyklátu je nižší nebo stejná, než je výroba panenského plastu. Na získání recyklátu se spotřebuje přibližně 15% ekvivalentní energie panenského materiálu. Technologicky je možné získat téměř 100% recyklát, ale potřebné úkony značně navyšují cenu jeho výroby (separace, čištění, mletí, přetavení...). Z čehož vyplývá, že ekonomický efekt recyklace se strmě snižuje se snižováním kvality zdroje.

Spotřeba jednotlivých druhů plastů je znázorněna na následujícím obrázku č. 2.1. Obrázek graficky znázorňuje spotřebu v období 2003 – 2010. [1]



Obr. 2.1: Světová spotřeba jednotlivých druhů plastů [2]

2.1.1 Druhy plastového odpadu ve výrobě

Technologický odpad:

vzniká při výrobě, jedná se o vtokové systémy, vadné výrobky, odstříky, atd. Je tedy ve vlastním zájmu každého výrobce, aby byly vráceny zpět do výroby jako vstupní surovina, i z důvodů energetické náročnosti (na 1 tunu plastů se spotřebuje kolem 2,5 tuny ropy).

Užitný odpad:

výrobky po skončení své funkční doby. Zatímco technologický odpad poskytuje relativně kvalitní materiál, srovnatelný s původními dosud nezpracovanými materiály, užitný odpad je obvykle znečištěn a materiál je v určité míře znehodnocen stárnutím. [5]

2.1.2 Druhy plastového komunálního odpadu

Vzhledem k tomu, že plasty vhodné k recyklaci a následné výrobě regenerátu jsou obsaženy i v komunálním odpadu, byl zaveden systém kódového označení recyklovatelnosti plastů do 6 základních skupin. Z toho plyne, že plasty je možno snadno třídit samotnými uživateli po skončení funkčnosti.

Označení plastových výrobků udává norma ČSN 77 0052. která definuje značení materiálového složení plastových obalů pro jejich případnou recyklaci. Označení se skládá z grafického symbolu a identifikačního kódu. Z tohoto označení nevyplývá, že jde o ekologičtější výrobek, jak se někdy mylně předpokládá. [3]

Na obrázcích č. 2.1.2-1, 2 jsou znázorněna označení, které lze najít na výrobcích z plastu a příklad konkrétního označení výrobku.



Obr. 2.1.2-1: Značka recyklovatelného plastu [4] Obr. 2.1.2-2: Značka PE-HD dle normy ČSN [3]

V tabulce č. 2.1.2 je uveden význam jednotlivých symbolů, a jakým způsobem je s plastem vhodné vynaložit.

Tab. 2.1.2: Význam symbolů [4]

Plasty				
Materiál	Písmenný kód	Číselný kód	Kam s ním	Co z něho bude
Polyethylentereftalát	PET	1	kontejner na plasty nebo přímo na PET	Izolace do bund a spacáků
Vysokohustotní polyetylen (mikroten)	HDPE nebo PE-HD	2	kontejner na plasty	trubky
Polyvinylchlorid	PVC	3	sběrný dvůr	okna, parapety, dveře, chlorovodík, uhlovodíky
Nízkohustotní polyetylen	LDPE nebo PE-LD	4	kontejner na plasty	Trubky
Polypropylén	PP	5	kontejner na plasty	sáčky a tašky
Polystyren	PS	6	kontejner na plasty	stavební izolační materiál

2.1.3 Výstupní surovina po recyklaci

Před samotným procesem recyklace je třeba uvažovat, jaký měl polymer původ a jak byl před recyklací zpracován – pouze drcením nebo drcením a regranulací.

Drcený materiál

Má výhodu v případě tepelně citlivých materiálů (nejsou znovu tepelně namáhány při regranulaci), bohužel nevýhoda je nestejná velikost drcených částí a zvýšený obsah prachových podílů. Tyto nežádoucí vlastnosti se dají odstranit použitím vhodných sít, pomalým mletím a nebo odsáváním prachu.

Regranulovaný materiál

Polymer je tvarem vstupních částic rovnocenný původnímu materiálu. Ke zlepšení užitných a zpracovatelských vlastností je vhodné použít různá aditiva (stabilizátory, plniva, maziva, barviva, apod.). Nevýhodou regranulace je energetická náročnost a nutnost vysušení rozemletého odpadu u většiny materiálů.

Při zvažování možností využití druhotných surovin je třeba mít na zřeteli, že materiál prochází při zpracování rozdílnými fyzikálními i chemickými procesy, které vedou ke změnám struktury a složení.

Drcené i regranulované plastové odpady a výrobky lze ve výrobním procesu zpracovávat samostatně a nebo jako příměs k panenskému polymeru.

První způsob není příliš vhodný, protože při recyklaci nejsou zaručeny původní vlastnosti materiálů. Výhodnější je, aby regranulát byl používán jako příměs. Regranulát ve formě příměsi se vmíchává do takového poměru, aby se objemové procento následně regenerovaného materiálu rychle snižovalo. Nejčastěji udávaný míšící poměr regenerát – panenský plast je 20% regenerovaného materiálu. Tím je zaručeno, že regenerovaný plast se nevrátí k regeneraci více jak desetkrát. Tento údaj je podložen praxí výrobců plastických hmot, ale i výzkumnými a vědeckými ústavy. Recyklace odpadu (drceného i regranulovaného) a výsledná kvalita výrobků závisí na typu polymeru, míře aditivace a podmínkách zpracování původního materiálu. Obecně platí poznatek, že degradace polymerů závisí na obsahu a typu stabilizátorů, vlhkosti, teplotě vstřikování a době prodlevy materiálu v tavící komoře. [5]

2.1.4 Základní metody třídění plastů

Základ kvalitní recyklace plastů je řádné roztřídění a separace jednotlivých druhů plastu. K roztřídění plastů existuje několik metod.

Nejdříve je třeba oddělit od sebe jednotlivé složky plastů (PE, PP, PVC, PET,...).

Metody třídění plastů lze rozdělit do prvních dvou skupin:

- a) suché recyklační metody - drcení, vzdušné třídění
- b) mokré recyklační metody - za použití vody či rozpouštědel

Ovšem nejdůležitější dělení je na základě těchto faktorů:

- a) **Primární** – materiálová recyklace
- b) **Sekundární** – surovinová recyklace
- c) **Terciární** – energetická recyklace

2.1.4.1 Primární recyklace

Nejprve se rozlišuje, zda-li se jedná o plasty jednoho druhu neznečištěné nebo plastovou směs (i lehce znečištěnou).

První případ je snadno zpracovatelný technologický odpad. Lze z něj vyrábět nové díly, ale hlavně se používá jako příměs do panenského plastu.

Druhý případ je nejčastěji odpad vznikající ve velkých podnicích, zároveň i část komunálního odpadu. Nejčastěji se skládá z 60% polyolefinů, dále pak styrenových plastů, PET a malé části PVC a PA. Separace jednotlivých složek se provádí na základě odseparování polyolefinové frakce pomocí flotace.

Hlavní problematikou u tohoto typu odpadu je vzájemná kompatibilita jednotlivých složek. Tento proces se nazývá kompatibilizace. Což je postup, který vede ke zvýšení snášenlivosti mezi nemísitelnými termoplasty ve směsi a snížením mezifázového napětí pomocí kompatibilizátorů složek směsí. Možnosti kompatibility plastů jsou znázorněny v tabulce č. 2.1.4.1.

Tab. 2.1.4.1: Matice kompatibility plastů

hlavní složka	ABS	ASA	PA	PBT	(PBT/PC)	(PC/ABS)	PC	(PC/PBT)	PE	PET	PMMA	POM	PP	PPE	(PPE/PS)	PS	PVC	SAN	TPU
ABS	+	+	0	+	+	+	+	+	0	0	+	0	0	0	0	0	+	+	+
ASA	+	+	0	+	+	+	+	+	0	0	+	0	0	0	0	0	+	+	+
PA	0	0	+	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	-	0	0	-	0	+
PBT	+	+	0	+	+	+	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0	-	+	0
(PBT/PC)	+	+	0	+	+	+	+	+	0	0	0	-	0	0	0	0	-	+	+
PC	+	+	-	+	+	+	+	+	0	+	+	-	0	0	0	0	-	+	+
(PC/ABS)	+	+	0	+	+	+	+	+	0	+	+	0	0	0	0	0	-	+	+
(PC/PBT)	+	+	-	+	+	+	+	+	0	+	+	0	0	0	0	0	-	+	+
PE	-	-	0	-	-	0	-	-	+	-	-	-	+	-	0	-	0	-	0
PET	+	+	0	+	+	+	+	+	0	+	0	0	0	0	0	0	-	+	0
PMMA	+	+	0	0	0	+	+	+	0	0	+	-	0	0	0	0	0	+	0
POM	0	0	0	0	0	-	-	-	0	0	-	+	0	0	0	0	0	0	0
PP	-	-	0	-	-	-	-	-	0	-	-	-	+	-	0	-	0	-	0
PPE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	+	+	-	0	0
(PPE/PS)	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	+	+	-	0	0
PS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	+	+	0	0	0
PVC	+	+	-	-	-	-	-	-	0	-	+	+	0	-	0	0	+	+	+
SAN	+	+	0	+	+	+	+	+	0	0	+	0	0	0	0	0	+	+	0
TPU	+	+	+	0	+	+	+	+	0	+	+	+	0	0	0	0	+	+	+

+ ... Dobrá kompatibility

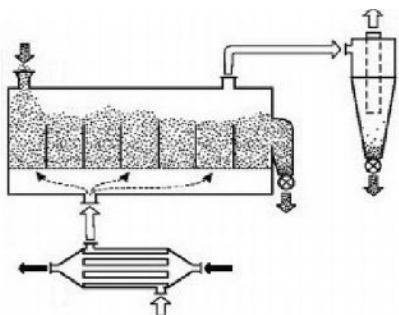
0 ... Omezená kompatibility

- ... Nekompatibilní

2.1.4.1.1 Metody primární separace:

Separace na bázi specifické hustoty:

- Flotace – využívá se rozdílné hustoty plastů a jejich chování v kapalině určité hustoty. Metoda je použitelná i v případě plastů blízkých hustot. V tomto případě se musí využít několika hydrocyklónů za sebou, a tím pádem se oddělují jednotlivé plasty postupně. [7]
- Fluidace – třídění na principu, při němž částice vystupují při mísení na povrch. Vystupují ty částice, jenž mají při stejné velikosti částice menší hustotu. Do zařízení je vháněna kapalina, která částice nadlehčuje a uvádí je do cyklónu. Nevýhoda této metody je potřeba upravit materiál do vhodného tvaru. Zařízení je schematicky znázorněno na obrázku č. 2.1.4.2. [8]



Obr. 2.1.4.2: Fluidační zařízení [8]

- c) Vibrační třídění – tento způsob je určen pro třídění sypkých hmot. Materiál se musí rozdrtit na danou velikost. Ke třídění dochází vzájemným působením proudu vzduchu vháněného pod sítovou plochou a jejím kmitáním. [9]

Separace na bázi rozpustnosti:

Rozdrcený plast se rozpustí v rozpouštědle narušující pouze jeden druh plastu. Následně se tento druh plastu pomocí reakčních prostředků nebo pouhým ochlazením odseparuje a plast je při připravený ke zpracování ve formě prášku. [10]

Separace pomocí elektrického náboje:

Separace na principu rozdílného elektrického náboje u plastů. Směs materiálu se nechá propadávat separačním zařízením a drť o velikosti menší jak 8mm se usazuje vlivem elektrické přitažlivosti na určité elektrody. Tím pádem je získávána vysoká stejnorodost vytříděných podílů. Tento způsob třídění je vysoce produktivní (až 2t / h). [10]

Separace na bázi navlhavosti plastů – pěnová flotace:

„Vyžaduje suspenzi plastů ve vodném roztoku plastifikátorů a smáčidel. Při postupném přidávání činidel se stávají určité plasty hydrofobní. Když je suspenze provzdušňována, hydrofobní částice vystupují směrem vzhůru, kde se hromadí jako flotační koncentrát. Velice dobře se touto technologií oddělují plasty od různých kovů, pryží atd. Problém nastává v případě, když původní polymer obsahuje plniva, jako jsou skleněná vlákna a podobně, která mění hustotu tříděného plastu.“

(Kreisher, K., 1991, s. 39)

Separace pomocí přímého ohřevu:

Využívá se rozdílné tepelné odolnosti jednotlivých druhů plastů. Méně odolné plasty se zbortí na sítu a následně se snadněji odseparují například ručním tříděním. Tento způsob je vhodný především pro kelímky, PET láhve a obaly. [11]

2.1.4.2 Sekundární recyklace

Zdrojem pro sekundární recyklaci jsou znečištěné směsi různorodých plastových složek, většinou z komunálního plastového odpadu, které nejsou vhodné pro primární recyklaci. Sekundární recyklaci představuje depolymerizaci plastových odpadních materiálů do rafinérských produktů. Principem jsou chemické a termicky destrukční procesy, kterými jsou polymerní složky rozloženy na směs plyných a kapalných uhlovodíků. Výstupními produkty této recyklace jsou: energeticky využitelný plyn a směs kapalných uhlovodíků využitelných jako topné oleje nebo petrochemická surovina. [12]

2.1.4.2.1 Metody sekundární recyklace:

Chemická recyklace:

Chemickou recyklací dochází k rozložení polymeru na produkty o nižší molární hmotnosti - oligomery (4-15 monomerních jednotek), popřípadě až na monomery samotné. Výhoda tohoto způsobu jsou nízké nároky na čistotu vstupní suroviny. Lze ji dobře aplikovat v případě, kdy vstupní surovina není roztríděna.

Nevýhodou jsou poměrně vysoké investiční náklady na zařízení a nutnost dalších investic do polymeračních jednotek, proto se takto recykluje necelé 1% z recyklovaných odpadů. [13]

Tepelná depolymerace:

„Některé polymery při vysokých teplotách podléhají degradaci tzv. zipovým mechanismem, kdy se z konců polymerních řetězců postupně odštěpují monomerní jednotky. Takový mechanismus tepelné degradace mohou vykazovat pouze některé plasty. Získané monomery je možné po vyčištění opět polymerovat. Proces depolymerace probíhá při zvýšené teplotě 400-500°C, kdy z odpadních plastů lze získat prakticky čistý polymer. Výtěžnost monomeru je závislá na typu polymeru. Většina ostatních plastů se při těchto teplotách rozkládá, tento proces je pak označován jako pyrolýza.“

[www.noharm.org/library/docs/NonIncineration_Medical_Waste_Treatment_Te9.pdf]

Pyrolýza

Jedná se o typ tepelné depolymerace, který probíhá ve třech fázích dle dosažené teploty. V oblasti teplot do 200°C se materiál suší a tvoří se vodní pára fyzikálním odštěpením vody. V rozmezí teplot 200 – 500°C dochází k tzv. suché destilaci. Zde nastává odštěpení bočních struktur a přeměna makromolekulárních struktur na plynné a kapalně organické produkty a pevný uhlík. Ve fázi teplot 500 – 1200°C jsou produkty dále štěpeny a transformovány. Z pevného uhlíku a z kapalných organických látek vznikají stabilní plyny, jako je H_2 , CO, CO_2 a CH_4 .

Ve vysoké peci je materiál jen unášen proudem o teplotě 1200°, kdy nastane překročení mezi jeho chemické stability. Poté je materiál dále unášen do pracovního pásma vysoké pece s teplotou plamene 2000 – 2300°C, kde proběhne dokonalá pyrolýza spalín plastů.

Směs určená ke spálení v pecích obsahuje různorodé typy plastů. Největší podíl ve směsi představují polyolefiny (pokud nebyly již dříve odseparovány), jichž je cca 60 hm.%. 26 hm.% jsou směsi polystyrenů, polykarbonátů, polyesterů, akrylátů a jiných plastů. Nejvýše 4% bývají zastoupeny technické plasty a elastomery jako jsou PVC, polyamidy, polyuretany, fluorové polymery aj.

Účinnost procesu pyrolýzy je závislá na výhřevnosti spalovaných plastů. Nejvyšší výhřevnost mají neplněné polystyreny, polyolefiny a polyestery. Na nejnižší úrovni nacházíme technické plasty a plasty plněné sklem a minerálními plnivý.

Výstupem je kromě tepelné energie i koks, vodík, metan, plynový a těžký olej, oxid uhelnatý, oxid uhličitý, vodík, vodní pára a případně čpavek a sirovodík. Na rozdíl od spaloven odpadu a vlivem nízkého podílu halogenů ve směsi nepřekračují emise toxických látek zákonem dané normy. Kladem je nenáročná investice do technologického zařízení a předpokládají se i nízké provozní náklady. [14]

Gasifikace:

Při Gasifikaci (zplyňování) dochází k přeměně plastu na syntézní plyn, tudíž pevný odpad se přeměňuje na plynné palivo. Do tohoto procesu je možno využít odpady s obsahem uhlovodíku. Část odpadu je spálena ve vysoké peci při tlaku 5-7 Mpa a zbývající část je zplyňována při teplotách 1300-1500°C. Výsledek procesu je syntézní plyn s obsahem H_2 , CO, CO_2 a H_2O , kdy H_2 a CO_2 , které jsou následně použity jako surovina pro výrobu metanu, kyseliny octové nebo amoniaku. [15]

2.1.4.3 Terciární recyklace

Obsah plastů v komunálním odpadu je zastoupen cca 7%. Spalováním se redukuje váha o 75% a objem až o 95%. Energetická recyklace je využívána z důvodu tepelné energie vznikající při spalování termoplastů, které nelze dál třídit, ale také pro termosety. Plasty se spalují ve speciálně konstruovaných topeništích obvykle společně s uhlím. Výstupním produktem je tepelná energie. [16]

Správně navržené topeniště a technologie spalování vylučují možnost vzniku toxických plyných produktů při spalování plastů např. dioxinů. Škodlivé produkty ze spalování, vznikající zejména z PVC, PA, PU a pryží jsou ze směsi spalin neutralizovány na pevnou formu. Například chlorovodík uvolněný spalováním PVC je vázán do tuhého chloridu vápenatého. Síra z pryží na inertní síran vápenatý, jenž lze použít do sádry ve stavebnictví a oxidy dusíku z PA jsou převedeny na nezávadné dusíkaté soli. [17]

2.2 Výroba granulátu

V této teoretické části je popsána výroba granulátu z termoplastů. Teoretické poznatky o výrobě těchto plastů jsou pro tento návrh procesu recyklace znečištěných plastů dostačující.

Výroba granulátu ať už panenského plastu nebo granulátu z recyklovaného plastu tzv. regranulátu patří do skupiny přípravných operací zpracování plastů. Proces granulace (regranulace) se člení do těchto základních celků:

- a) míchání a hnětení
- b) v případě regranulátu mletí (drcení)
- c) granulace
- d) sušení

Granulát vzniká vhodným zpracováním polymerů. Ty vznikají vázáním monomerů pomocí chemických reakcí, které se liší dle mechanismu vzniku – polyinzerce, polykondenzace, polyadice, radikálový, iontový mechanismus. [18]

2.2.1 Míchání a hnětení

Při výrobě polymerů polyreakcemi je míchání bezproblémové. Ve zbylých případech použití technologie míchání je založeno na smíchání základního polymeru s přísadami pro zlepšení vlastností plastu (stabilizátory, plniva, změkčovadla, barviva, atd.) nebo pro zlepšení a usnadnění zpracování (např. maziva). Míchání je možné aplikovat u všech stavů polymerů- tavenina, kapalina, prášek, granule. [19]

2.2.1.1 Vlastní proces míchání a hnětení

Míchací procesy lze rozdělit podle odporu, jaký je kladen promíchávanými částicemi vnější síle, jenž na ně působí.

Jeden extrém - míchání látek s nepatrným odporem částic proti posunutí – míchání zrnitých, popř. práškových látek - velikost a tvar částic míchaného materiálu se v podstatě nemění

Druhý extrém - procesy, při kterých se musí překonávat velký odpor proti zamíchání

Rozlišují se dva typy:

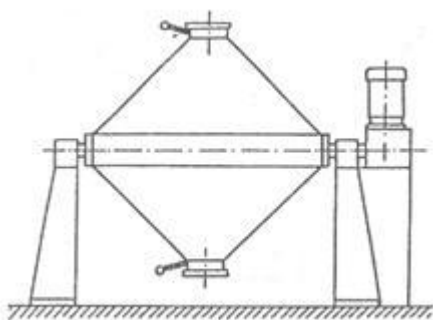
a) intenzivní míchání - míchací proces, při kterém je hmota ve změkklém nebo roztaveném stavu a stupeň homogenity závisí na intenzitě smykového namáhání v systému (např. míchání kaučuků se sazemi v hnětičích), též se označuje jako plastikace

b) extenzivní míchání - míchací proces, v němž stupeň homogenity závisí na stupni toku nebo na vytváření nového povrchu (např. míchání práškových polymerů s pigmenty v pásové míchačce)

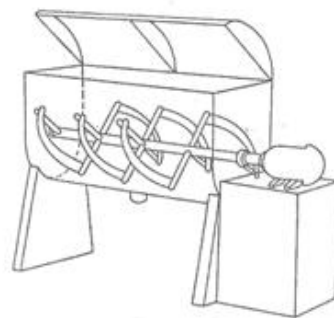
Proces hnětení, jenž se vyznačuje výrazným vzájemným laminárním posunutím částic ve zpracovávané hmotě způsobené velkými smykovými silami, nezaručuje dokonalou homogenizaci, vždy dojde k rozrušení a rozptýlení částic vlivem značných smykových sil (dispergační míchání). [20]

2.2.1.2 Stroje pro míchání a hnětení

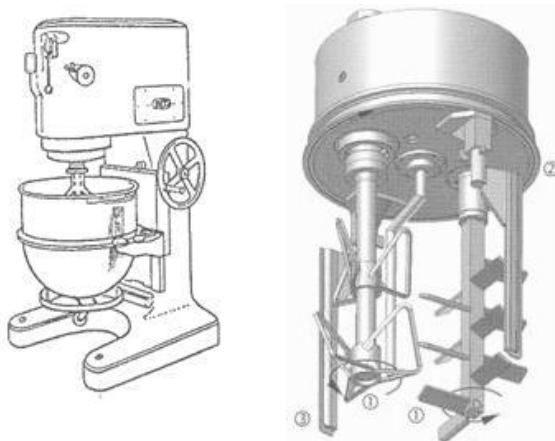
K míchání se používají tzv. míchačky. Dle polohy osy otáčení se dělí na *horizontální* a *vertikální*. Nejčastěji se používají na míchání past, směsí PVC, lepidel. Většinou bývají jednodušší konstrukce, která je založena na pohyblivém se nástroji. Na následujících obrázcích č. 2.2.1.2-1,2,3 jsou uvedeny vybrané míchačky. [20]



Obr. 2.2.1.2-1: Bubnová
míchačka- horizontální [20]



Obr. 2.2.1.2-2: Pásová
míchačka- horizontální [20]

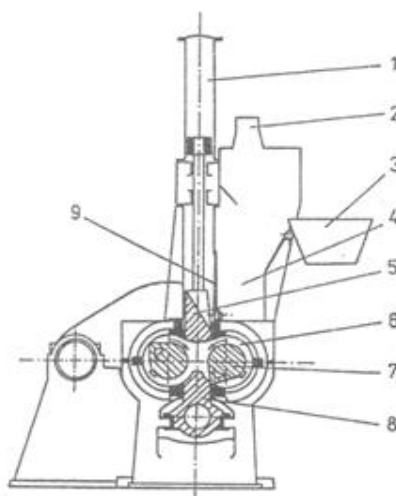


Obr. 2.2.1.2-3: Lopatková (vlevo) a planetová (vpravo) míchačka-vertikální [20]

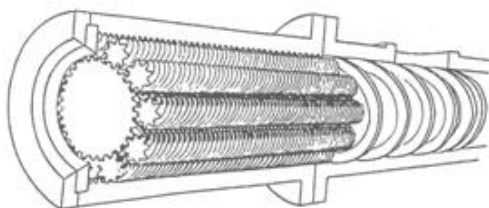
Hnětací stroje jsou schopné smísit plasty s přísadami, ale zároveň působením intenzivního smykového namáhání převádí polymer do plastického stavu.

Hnětací stroje se podle průběhu procesu dělí na *diskontinuální* (jsou pružnější při změně materiálu, ale kolísá kvalita v jednotlivých dávkách) a *kontinuální* (vzniká přesný produkt, ale s nutností přesného dávkování).

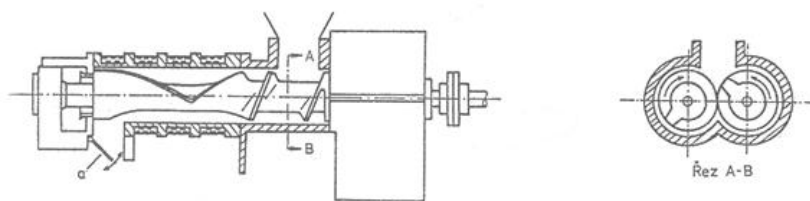
Na následujících obrázcích č. 2.2.1.2-4,5,6 jsou uvedeny vybrané hnětací stroje. [20]



Obr. 2.2.1.2-4: Tlakový hnětič- diskontinuální [20]
(1- vzduchový válec pro klín, 2- odsávání prachu, 3- plnění, 4- plnicí násypka, 5- přitlačný klín, 6- míchací komora, 7- hnětadla, 8- spodní výpust, 9- klapka)



Obr. 2.2.1.2-5: Šnekový vytlačovací stroj s planetovými válci- kontinuální [20]



Obr. 2.2.1.2-6: FCM hnětič – kontinuální [20]

2.2.2 Mletí (drcení)

Pro výrobu regranulátu se používají převážně odpadní plasty. Ty jsou ve formě, která není vhodná pro přímé zpracování v regranulačních strojích. Z tohoto důvodu je třeba tyto plasty upravit na drť o velikosti, kterou je možné aplikovat do regranulačních strojů.

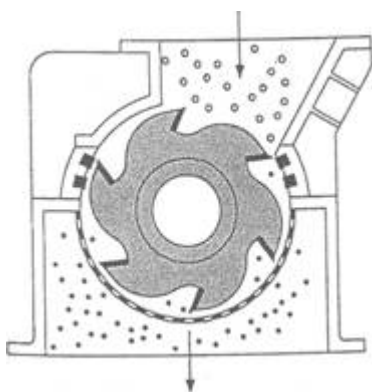
Drť se vytváří pomocí mlýnů. Pro drcení velkých částí plastového odpadu se využívá kladivového mlýnu, který je znázorněn na obrázku č. 2.2.2-1. [20]



Obr. 2.2.2-1: Kladivový mlýn [23]

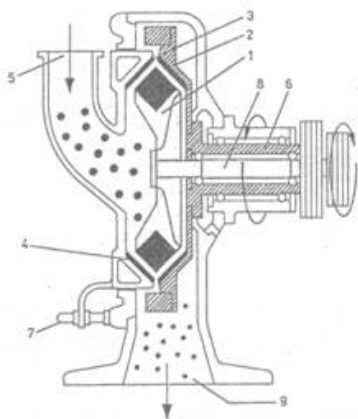
Pro drcení menších částí plastového odpadu nebo již zmenšených částí hrubším mlýnem se použije např. nožový mlýn.

Nožový mlýn je nejčastěji aplikován ve zpracování recyklátu. Tento mlýn materiál rozdrtí několika noži umístěnými radiálně na rotoru a velikost drti závisí na velikosti ok v sítu, které je na dně mlýnu. Princip nožového mlýnu je uveden na obrázku č. 2.2.2-2. [20]



Obr. 2.2.2-2: Nožový mlýn [20]

Pokud je potřeba rozemlít materiál na velmi malé částice vhodné i pro nanášení vrstev (stříkáním, fluidně), používá se talířový nárazový mlýn, který je schopen vytvářet i částice o velikosti 100 μm . Tento mlýn je znázorněn na následujícím obrázku č. 2.2.2-3. [20]



Obr. 2.2.2-3: Talířový nárazový mlýn [20]

2.2.3 Proces granulace (regranulace)

Proces granulace (regranulace) bývá označován za konečný stupeň přípravného zpracování většiny plastů.

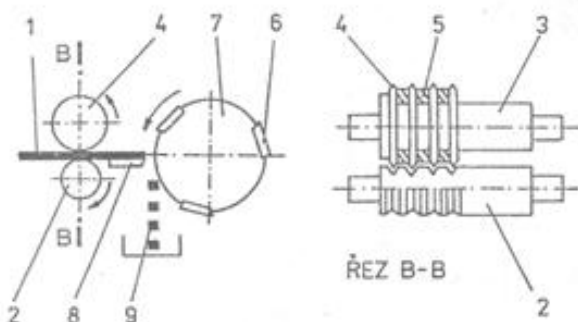
Výsledný produkt – granulát (regranulát) je možné snadno a přesně dávkovat do extrudačních zařízení. Výsledný produkt má relativně velkou sypanou hmotnost, dobré tokové vlastnosti a možnost snadného směšování s dalšími materiály (např. s pigmenty, stabilizátory,...).

Výběr granulační metody závisí na vlastnostech zpracovávané taveniny, na prostoru, který je k dispozici pro granulační linku, na požadovaných výkonnostních parametrech zařízení, na ekonomických požadavcích apod. [20]

2.2.3.1 Granulační metody

1) Pásová granulace

Není vhodná pro tvrdé materiály (neměkčený PVC, PA, PS apod.) a je méně produktivní. Materiál je řezán na proužky a následně rozsekán na granule. Princip metody je znázorněn na obrázku č. 2.2.3-1. [20]

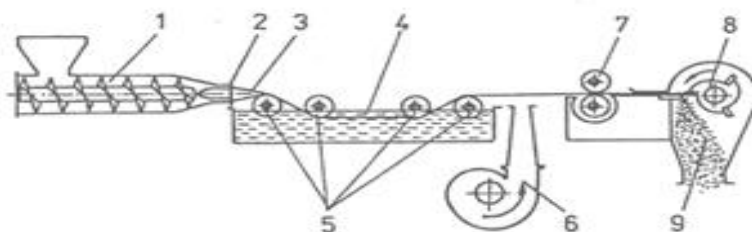


Obr. 2.2.3.1- 1: Pásová granulace[20]
(1- pás plastu, 2- podávací válec, 3- hřídel, 4- kotoučové řezací nože, 5- distanční vložky, 6- rotační nože, 7- buben, 8- pevný nůž, 9- granule)

2) Granulace za studena

Granulační hlavou s mnoha otvory jsou vytlačovány nekonečné struny, které se ochlazují ve vodní lázni a po odstranění přebytečné vody jsou sekány rotujícími noži.

Nevýhoda této metody spočívá v obtížném zpracování mnoha strun v granulačním zařízení. Struny se před ochlazením mohou slepovat, popř. po nadměrném ochlazení se mohou lámat. Z těchto důvodů se tato metoda doporučuje do výkonnosti 2 000 kg/h. Princip metody je znázorněn na obrázku č. 2.2.3.1-2. [20]



Obr. 2.2.3.1-2: Granulace za studena [20]

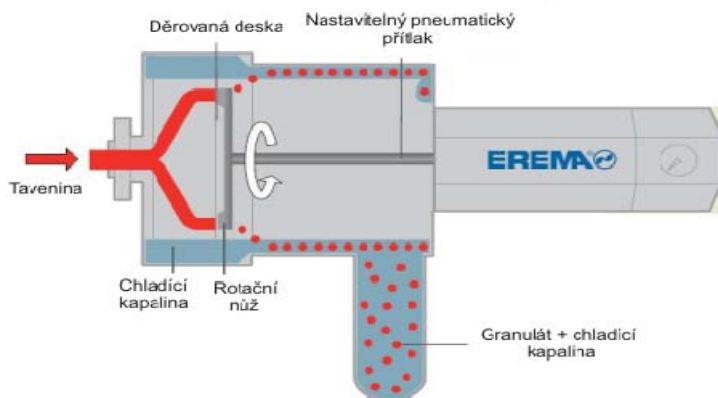
(1- šnekový vytlačovací stroj, 2- granulační hlava, 3- struny, 4- chladicí kapalina, 5- vodící válečky, 6- ventilátor, 7- podávací vlečky, 8- nože, 9- granule)

3) Granulace za tepla

Granule jsou seřezávány přímo z čela granulační hlavy s mnoha otvory.

Pokud se jedná o suchou granulaci za tepla, roztavený polymer vystupuje z otvorů granulační hlavy a je přímo seřezáván za sucha nožovým řezacím zařízením velkou rychlostí a odhazuje odříznuté granule od čela hlavy. Granule jsou ochlazeny většinou později ve vodní lázni.

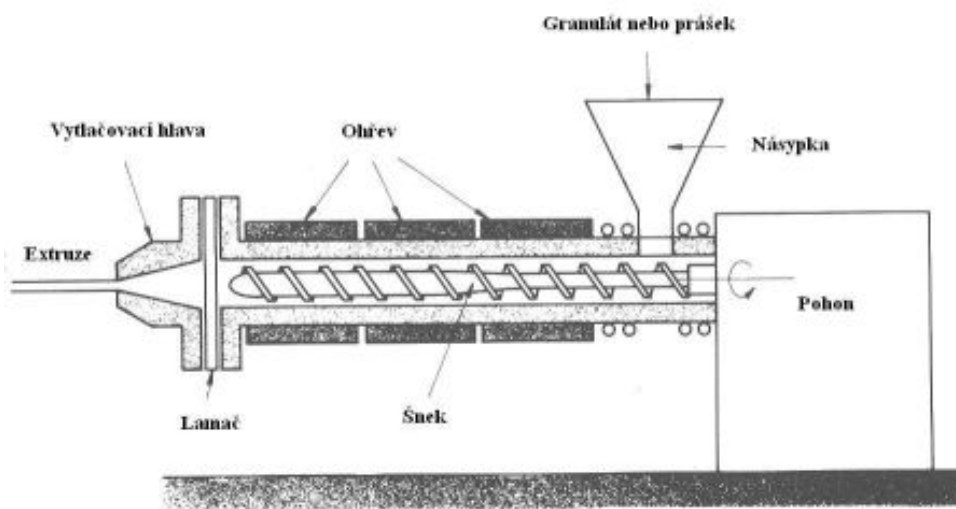
Další metodou je granulace za tepla pod vodou. Tento způsob je určen pro polymery, které mají tendenci se za horka roztírat nebo lpět na nožích. Tudíž pokud se jedná o nízkoviskózní polymery. Během procesu jsou vznikající granule i rotační nože intenzivně chlazeny vodou. Tento způsob bývá realizován způsobem jaký je uveden na obrázku č. 2.2.3.1-3, kde chladicí kapalina vytváří prstenec. [20]



Obr. 2.2.3.1-3: Granulace za tepla pod vodou [21]

2.2.4 Stroje pro granulaci

Pro výrobu granulátu (regranulátu) se nejčastěji používá jednošnekový nebo dvoušnekový extrudér. Výkon extrudéru se volí podle parametrů: množství granulátu za hodinu, velikosti prostoru pro extrudér, ekonomického hlediska, atd. [22]
Řez jednošnekovým extrudérem je znázorněn na následujícím obrázku č. 2.2.4.



Obr. 2.2.4: Jednošnekový extrudér [22]

Dále součástí granulačního stroje je tzv. filtr taveniny, který taveninu polymeru zbavuje případných nečistot a zároveň více usměrňuje proudění taveniny. Příklad filtru taveniny je uveden na obrázku č. 3.5.2-9, v kapitole 3.5.2.

Po filtru taveniny následuje již granulační zařízení. Ty jsou popsány výše v této kapitole.

2.2.5 Sušení plastů

Některé plasty jsou navlhavé (hyroskopické) a po granulaci (zejména prochází-li granulát při výrobě vodou) se musí sušit. Procesem sušení se zbavuje plast absorbované vlhkosti.

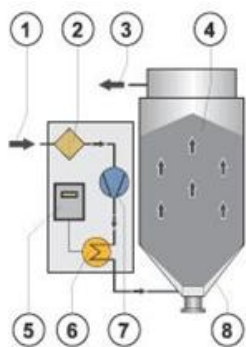
Kdyby se materiál nesušil, hrozí zhoršení kvality povrchu výrobků i pokles mechanických vlastností, zejména u plastů, u nichž voda při zvýšené teplotě způsobuje štěpení makromolekul.

Průběh sušení je závislý na charakteru spojení vlhkosti s materiálem. Voda je buď vázána přilnavostí (povrchová vlhkost) nebo kapilárními silami (vlhkost je v celém objemu plastu). Ve druhém případě je odpařování ztíženo, protože voda v kapilárách se chová jako kapalina pod zvýšeným tlakem a při sušení se musí použít vyšší teploty, než je bod varu při daném tlaku okolí.

Má-li dojít k vysušení, je nutné, aby tlak páry, který se ustaví těsně nad povrchem vlhkého materiálu, byl větší než parciální tlak páry v okolním prostředí. Sušení probíhá jen do chvíle vyrovnání těchto tlaků. Materiál je tedy možno vysušit jen do určité vlhkosti, tzv. rovnovážná vlhkost, která závisí na okolních podmínkách (teplotě okolí a relativní vlhkosti).

„Obsah vlhkosti v materiálu se obvykle vyjadřuje v hmotnostních procentech, udávajících počet dílů vody ve sto dílech vlhkého materiálu. Tato hodnota se však pro řešení problémů sušení a pro výpočty nehodí. Pro tyto účely se vlhkost udává v kg vody připadající na jeden kg absolutně suché látky neboli sušiny. Toto značení má tu výhodu, že obsah sušiny je v celém procesu sušení konstantní. Z technologického hlediska je nejdůležitější určení doby sušení, nutné k dosažení požadované hodnoty vlhkosti. K tomu je nutno znát rychlost sušení konkrétního druhu plastu.“ [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/03.htm]

Granulát se suší i při samotném zpracovávání ve výrobě. A to ve formě vyhřívaných násypek. Takto sušený granulát musí být kontinuálně zpracován do 30 minut, proto se do násypky doplňuje množství, které je možno v tomto intervalu zpracovat. Na následujícím obrázku č. 2.2.5-1 je znázorněna vyhřívaná násypka. [19]



Obr. 2.2.5-1: Vyhřívaná násypka
(1- vstup vzduchu, 2- filtr, 3- výstup vzduchu, 4- směr průchodu vzduchu, 5- kontrola teploty, 6- ohřev vzduchu s bezpečnostním termostatem, 7- dmychadlo, 8- násypka) [19]

Při samotné výrobě granulátu (regranulátu) se používají tzv. stacionární sušárny.

Tyto sušárny se dělí do těchto skupin:

- a) s nepřetržitým provozem, s periodickým provozem
- b) dle smyslu proudění - souprroudé, protiproudé, s kříženým proudem
- c) dle oběhu vzduchu - s otevřeným nebo uzavřeným oběhem vzduchu v sušárně
- d) dle tlaku – atmosférické, vakuové [19]

Na obrázku č. 2.2.5-2 je znázorněna vakuová sušárna a princip její činnosti.



Obr. 2.2.5-2: Vakuová sušárna LPD

(1- plnění novým materiálem + předehtřívání materiálu, 2- vakuování kanystru s materiálem s odváděním vlhkosti, 3- vysušený materiál (následně se dopravuje k dalšímu zařízení) [23]

3 Experimentální část

3.1 Specifikace znečištění plastového odpadu

3.1.1 Způsob znečištění

Znečištění plastového odpadu bylo způsobeno vlivem používání v průběhu jeho životnosti. A to znečištění způsobené usazováním nečistot při používání ve venkovním provozu (povětrnostní podmínky) a znečištění, které vzniká přímo samotným provozem výrobku (např. vysavače, poškozené plastové popelnice).

Další znečištění se usadilo na materiálu z prostředí během skladování po vyřazení z provozu.

3.1.2 Druh a míra znečištění

Znečištění je ve většině případů organického i anorganického původu.

a) Znečištění vzniklé vlivem prostředí (varianta A):

Jedná se o usazený prach, znečištění ze vzdušného smogu, poletujícího pylu, kyselých dešťů a dalších běžných znečišťujících faktorů v prostředí. Dále některý plastový odpad byl volně položen na půdě nebo jiném povrchu, který uvolňuje nečistoty.

Míra znečištění od těchto vlivů bývá po celé ploše plastového odpadu v případě prachu apod. Místně je znečištění od vlivů půdy apod.

Tento druh znečištění lze většinou snadno odstranit i pouhým otřením suchou tkaninou, otřením mokrou tkaninou nebo oplachem užitkovou vodou.

b) Znečištění vzniklé samotným provozem plastového odpadu v průběhu jeho životnosti (varianta B):

Tento druh znečištění zastupuje mastnota (od potravin, neagresivních olejů, atd.), zbytky provozních náplní, zbytky potravin, prach vzniklý provozem (vysavače, plastové kryty strojů, atd.) a jiné organické znečištění.

Znečištění se odstraní za pomoci vhodných tenzidů¹ a užitkové vody ve vhodném zařízení. Tato směs je nazývána čistící médium.

Znečištění vzniklé samotným provozem je většinou na plochách, které při životnosti plastového odpadu plnili funkci výrobku (vnitřní část vysavače, kde se nachází sběrná nádoba nečistot, vnitřek plastové popelnice). Proto je potřeba dbát na důkladné odstranění tohoto druhu znečištění, může se nacházet na špatně přístupném místě pro čistící médium.

Problematicke odstraňování nečistot je více věnováno v kapitole č. 3.4.3.

3.1.3 Množství znečištěného odpadu dle druhu

Přesné množství v kilogramech podle druhu není možno vyčíslit z důvodů:

- nelze určit, kolik kterého znečištěného odpadu bude v daném období
- nelze určit, jaký druh znečištěného odpadu dodavatel poskytne k recyklaci

Přesnější množství znečištěného odpadu je známo pouze u toho materiálu, který je naskladněn u firmy SK-EKO.

Za předpoklad pro návrh procesu je uvažováno:

- a) Po zavedení navrhovaného procesu bude více znečištěného plastového odpadu varianty a výše uvedené
- b) množství podle druhu znečištění bude známo po přijmutí od dodavatele a rozřídění – problematice rozřídění se více věnuji v následující kapitole č. 3.2.
- c) znečištěný plastový odpad varianty b výše uvedené se bude třídit zvlášť z důvodu obtížnějšího odstranění nečistot.

¹ Jedná se o organické sloučeniny, povrchově aktivní látky, schopné hromadit se již za velmi malých koncentrací na fázovém rozhraní a tím snižovat mezifázovou energii soustavy. Snížením povrchového napětí rozpouštědel usnadňují smáčení povrchu a odstranění nečistot. [24]

3.2 Roztřídění znečištěného plastového odpadu dle druhu

3.2.1 Druhy zpracovávaných znečištěných plastů

V příloze č. 3 je znázorněno několik ukázek znečištěných plastů, které v navrhovaném procesu jsou určeny ke zpracování.

Nejčastěji se jedná o tento typ výrobků a průmyslového odpadu:

- a) Plastové díly domácích spotřebičů (lednice, vysavače, mikrovlnné trouby a další)
- b) Plastové díly spotřebičů využívaných ve výrobě (nádoby, vany, dopravní technika a další)
- c) Plastové díly pro stavební průmysl (plastové trubky, montážní součásti a další vadné, poškozené, následně znečištěné od montáže / demontáže a vlastního provozu)
- d) Plasty používané pro dopravu (košíky, plastové popruhy používané pro jištění balíků a další)
- e) Plastové části vyřazených automobilů (nejčastěji nárazníky)
- f) Znečištěný průmyslový plastový odpad (odpad vzniklý při procesu tváření plastů a vadné výrobky, které byli nevhodně skladovány)
- g) Technika pro komunální odpad (poškozené popelnice)
- h) Jiný plastový materiál (materiál, který uzná zadavatel na základě navrhovaného procesu recyklace vhodný pro zařazení na zpracování znečištěných plastů)

Materiály, ze kterých jsou vyrobeny uvedené typy výrobků a průmyslového odpadu:

- a) PS -- plastové díly domácích spotřebičů, spotřebičů využívaných ve výrobě
- b) PA -- nejčastěji díly pro stavební průmysl, plastové části automobilů, znečištěný průmyslový odpad
- c) PE -- znečištěný průmyslový plastový odpad, plasty používané pro dopravu, plastové díly domácích spotřebičů, plastové díly pro stavební průmysl
- d) PP -- technika pro komunální odpad, znečištěný průmyslový plastový odpad, plastové díly spotřebičů využívaných ve výrobě, plastové části vyřazených automobilů

- e) ABS -- plastové části vyřazených automobilů, plastové díly domácích spotřebičů, znečištěný průmyslový plastový odpad
- f) Jiné plasty (PVC, silikony, reaktoplasty, atd.)

3.2.2 Kritéria roztrídění znečištěných plastů

Současný stav:

Znečištěný plastový odpad je v prostorách firmy SK-EKO neroztříděn. Je pouze separován od čistého průmyslového plastového odpadu, který lze zpracovat téměř ihned po přijmutí od dodavatele.

Stav po zavedení procesu recyklace znečištěných plastů:

Návrh způsobu roztrídění znečištěného plastového odpadu je znázorněn ve schématu v příloze č. 1.

Roztrídění znečištěných plastů bude proveden vzhledem k množství a velikosti odpadu ručně. Pro bližší specifikaci bude vhodné použít jednoduché zkoušky pro určení konkrétního plastu. Postup je uveden níže v této kapitole.

Krok 1:

Nejprve se roztrídí plastový odpad podle typu znečištění (viz kap. 3.1.2).

Jedná-li se o znečištění varianty A, následnému procesu čištění není třeba klást přílišná preciznost. Nečistoty tohoto druhu jdou snadno odstranit, nespotebovává se tolik energie při čištění, na odstranění dostačují méně agresivní tensidy a kratší doba čištění.

Jedná-li se o znečištění varianty B, plastový odpad je nutno správně připravit, aby v čistícím zařízení došlo k odstranění všech nečistot. Tím rozumíme tyto úpravy – např. zmenšení příliš velkých kusů, rozbití plastového odpadu, jenž svým tvarem by zamezil přístupu čistícího média. Na odstranění tohoto typu nečistot je třeba klást větší pozornost. Je vhodné použít agresivnější tensidy, které dokáží odstranit mastné a usazené nečistoty. I když zbavení nečistot tohoto typu spotřebovává více energie a dražší tensidy, po aplikaci procesu se dosahuje větší množství kvalitního materiálu (např. PP – nárazníky automobilů, popelnice).

Krok 2:

Dalším roztříděním, které bude aplikováno na obě varianty v předchozím kroku, dojde k vytvoření plastového odpadu vhodného ke zpracování navrhovaným procesem a plastový odpad, který se zcela vyřadí a jeho recyklace nebo úplná likvidace se zajistí jinou technologií (skládka, spalovna,...).

Plastový odpad, který se z procesu vyřadí:

- a) Obsahující viditelné kovové části
- b) Obsahující nebo je složený z více fází (PUR výplň, plast jiné barvy, plast jiného typu – např. těsnící kroužky...)
- c) Lakovaný odpad nebo odpad s jinou nesespecifickou povrchovou úpravou
- d) Obsahující kovové příměsi (tento odpad se identifikuje snadno pomocí detektoru kovů, popisují v kapitole 3.5.2)
- e) Obsahující textilní a jiné výztuže
- f) Z materiálového hlediska nezpracovatelný odpad: Reaktoplasty, elastomery (kaučuky, silikony), pěnové materiály (PUR, pěnový PS,...), PVC (měkkčené i neměkčené) – firma SK-EKO si musí zajistit informaci od dodavatele, zda dodávka znečištěného plastového odpadu tyto materiály obsahuje.

Přehled nejčastějších reaktoplastů je znázorněn v příložené tabulce č. 3.2.2-1.

Tab. 3.2.2-1: Přehled reaktoplastů [25]

Značka	Název
PF	Fenolformaldehydová hmota – „bakelit“ (Fenoplasty)
UF	Močovinoformaldehydová hmota – lepidla na dřevo, dříve často pohledové díly spotřebičů (Aminoplasty)
MF	Melaminformaldehydová hmota – podobné uplatnění jako UF, vyšší mechan. vlastnosti (Aminoplasty)
EP	Epoxidové hmoty – lepidla, zalévací hmoty, kompozitní dílce
UP	Nenasycené polyestery
PUR	Polyuretany – výplně, izolace, tvarové díly autosedaček, pružnější strojírenské aplikace

Krok 3:

Poslední roztřídění se provede z hlediska konkrétního druhu plastu u obou variant znečištění, ale pouze u plastů vyhovujících k dalšímu zpracování (viz krok 2). Na toto roztřídění se aplikují znalosti a pravidla o třídění a recyklaci plastů. Třídění bude prováděno na základě primární – materiálové recyklace jen s tím rozdílem, že náš plastový odpad je znečištěný. V tomto rozboru znečištění není bráno v úvahu, protože k určení o jaký druh plastu se jedná, nevadí.

Nejčastěji nám dodavatel poskytuje znečištěný plastový odpad na bázi polyolefinů [(HD-,LD---PE, PP], PA, PS, ABS a jiné běžné termoplasty.

Většinou bývá na výrobku uvedeno, o jaký druh plastu se jedná nebo je druh plastu známý od dodavatele plastového odpadu. V případě, že složení plastu je neznáme, použijí se jednoduché zkoušky k identifikaci plastu. Metody jsou popsány dále v této kapitole. Zda-li je plast z nějakého typu polyolefinů se zjistí na základě jednoduché flotační zkoušky.

Princip flotační zkoušky

„Základem je využití rozdílné hustoty jednotlivých plastů, kdy např. pomocí vody (na zařízeních zvané hydrocyklóny) se oddělují plasty o hustotě nižší, než má voda (PP, LDPE, HDPE), od plastů, jejichž hustota je naopak vyšší (PS, PVC, PET). K separaci plastů, jejichž hustoty jsou nižší, než je hustota vody (např. PP a LDPE), lze využít kapaliny o hustotě kolem 930Kg/m^3 a podobně. Tento postup se dá využít, i pokud je k dispozici směs více plastů, hustoty jsou málo rozdílné a složení plastového odpadu neznámé. V tom případě je vhodné uspořádat několik hydrocyklónů do série, kdy lze postupně změnou hustoty kapaliny oddělovat jednotlivé typy plastů. Novinkou v této technologii je pak použití tekutiny, která se nachází ve stavu blízkém svého kritického bodu. Hustota tohoto media pak může být měněna velice citlivě změnou tlaku. Takto lze dosáhnout citlivosti až $0,01\text{Kg/m}^3$.“ (Mleziva, J., 2000)

K dalšímu rozřídění je možno použít zkoušku, kdy se opticky vyhodnocuje chování při hoření. Vlastnosti při hoření nejběžnějších plastů jsou uvedené v následující tabulce č. 3.2.2-2.

Tab. 3.2.2-2: Vlastnosti při zkoušce hořením

		PE-LD	PE-HD	PP	PS	ABS	SAN	PVC	EVA	PMMA	PA	PUR	PET	POM
		polyethylen nízkohustotní	polyethylen vysokohustotní	polypropylen	polystyren	akrylonitril-butadien-styren	styren-akrylonitril	polyvinylchlorid	ethylen-vinylacetát	polymethylmethakrylát	polyamid	polyurethan	polyethylen tereftalát	polyacetát
Druh zkoušky	Výsledek zkoušky													
Flotační	Plave na vodě	*	*	*										
Chování při spalování	Taví se a odkapává	*	*									*		
	Hoří plamenem	*	*	*	*			*	*	*	*	*		
	Mimo plamen zhasíná						*				*			
	Tvoří saze (čadi)				*	*	*						*	
	Jiskří								*					
	Tvoří zuhelnatělé zbytky						*	*						
Barva plamene	Modrá								*					*
	Modrá s bílým vrcholem	*									*	*		
	Žlutá se zeleným okrajem						*							
	Žlutooranžová			*									*	
	Purpurový okraj							*						
Pach při spalování	Vosk	*	*	*										
	Spálená rohovina										*			
	Pryskyřice												*	
	Česnek								*					
	Chlorovodíkový čpavý						*							
	Čpavý							*				*		*
	Nasládlý			*	*	*								
Lomová	Neláme se	*	*	*						*				
	Křehký lom			*		*		*	*					
	Tažný lom				*	*	*	*			*	*	*	*
Vrypová	Stopa po škrábnutí nehtem	*												
Akustická	Při úhozu plechový zvuk			*										
	Při hoření praská								*		*			
	Fólie šustí	*	*											
Tažnost fólie	Malá		*										*	
	Střední			*						*				
	Velká	*					*							

K urychlení rozřídění lze využít i praxi obslužného personálu, který druh plastu rozpozná podle vzhledu a vlastností při zkoušení.

Kompletně rozříděný znečištěný plastový odpad si obsluha připraví pomocí paletizace do skupin dle druhu plastu.

Jednotlivé palety označí příslušným označením:

- a) Roztřídění dle druhu znečištění – A,B
- b) Roztřídění dle typu plastu – mezinárodní značky plastů (PE, PP, ABS) – po roztřídění jak vizuálním zjištění typu plastu podle uvedené značky přímo na plastovém odpadu, tak po roztřídění uvedenými zkouškami.

Znečištěný plastový odpad vyřazený z procesu recyklace obsluha zařadí do připraveného velkoobjemového kontejneru k následné likvidaci.

Roztříděný znečištěný plastový odpad obsluha umístí ve skladových prostorech firmy SK-EKO tak, aby nemohlo dojít k záměně nebo nechtěnému smíchání roztříděných plastů.

Tudíž mezi připravenými palety zanechá dostatečné odstupy (min. 0,5m), palety s plastovým odpadem typu A a B na protilehlých stranách skladového prostoru. Palety obsluha uspořádá např. podle kvality typu plastu sestupně (PA, PS, PP, PE,...).

Uspořádání je znázorněno ve schématu v příloze č. 2.

V tabulce č. 3.2.2-3 je znázorněn přehled nejběžnějších zkratk plastů.

Tab. 3.2.2-3: Zkratky plastů

Značka	Název
ABS	Kopolymer akrylonitrilbutadienstyren
CR	Polychloropren (polychlorbutadien)
DMT	Dimethyltereftalát
EVA	Kopolymer ethylenvinylacetát
PA	Polamid
PA6	Polyamid 6 chemicky polykaprolaktam
PA66	Polyamid 66 chemicky poly(hexamethylenadipamid)
PAN	Polyakrylonitril
PB	Polybuten
PBTP	Polybutylenteraftalát
PC	Polykarbonát
PE-HD/HDPE	Polyethylen - vysokohustotní
PE-LD	Polyethylen - nízkohustotní
PE-LLD	Polyethylen – nízkohustotní lineární
PET, PETP	Polyethylenteraftalát
PE-UHMW	Polyethylen o (ultra)vysoké molekulární hmotnosti
PHT	Polyhydroxyethyltereftalát
PMMA	Polymethymetakrylát (organické sklo)
PMP	Polymethylpenten
POM	Polyoxymethylen, polyformaldehyd
PP	Polypropylen
PPO	Polyfenylenoxid
PPOX	Polypropylenoxid
PS	Polystyren
PTFE	Polytetrafluorethylen (teflon)
PUR	Polyuretan
PVAC	Polyvinylidenchlorid
PVC	Polyvinylchloryd
PVDC	Polyvinylidenfluorid
PVDF	Polyvinylidenfluorid
PVF	Polyvinylfluorid
SAN	Kopolymery styren-akrylonitril
TPA	Kyselina tereftalová

Způsob rozřídění je zvolen tak, aby byl přehledný, logický i pro méně kvalifikovanou obsluhu a zamezil případnému sloučení vyřazených a nevhodných znečištěných plastů, které by mohli poškodit zařízení vybrané pro zpracování znečištěných plastů.

3.3 Možnosti zadavatele na vytvoření procesu, požadavky zadavatele k procesu

3.3.1 Možnosti zadavatele

Firma SK-EKO disponuje dostatečně velkými krytými prostory pro uskladnění roztríděného odpadu, který je připraven pro zpracování, i prostory pro výslednou surovinu připravenou pro zákazníka – regranulát. Prostory jsou vyobrazeny v příloženém obrázku č. 3.3.1-1.



Obr. 3.3.1-1: Prostory firmy SK-EKO

Firma má v současné době k dispozici dva mlýny na drcení plastů. Oba mlýny si přeje zadavatel použít pro výrobu drti, která se zpracuje v regranulačním zařízení.

Jedná se o mlýny firmy Boco Pardubice:

a) typ G 50/60 - mlýn má příkon 37kW a rozměry vstupní násypky 600x500mm. Součástí mlýnu je pásový dopravník k vstupní násypce. Tento typ slouží pro výrobu jemné drti, která je svou velikostí vhodná přímo pro zpracování v negranulačním zařízení. Mlýn i dopravník jsou znázorněny v obrázku č. 3.3.1- 2,3.



Obr. 3.3.1-2: Mlýn BOCO G50/60



Obr. 3.3.1 -3: Mlýn BOCO G50/60 s pásovým dopravníkem

Součástí mlýnu je odsávací zařízení rozdrčeného materiálu. Toto zařízení dávkuje drť do připravené nádoby.

b) typ ASG 800 – mlýn má výkon takéž 37kW, ale vstupní otvor 1250x850mm. Na rozdíl od předchozího typu slouží tento mlýn pro výrobu hrubé drti o velikosti čtverce cca 50x50mm. Tento typ je znázorněn na obrázku č. 3.3.1-4.



Obr. 3.3.1-4: Mlýn typu ASG 800

Technické listy obou mlýnů jsou k dispozici jako příloha č.5.

3.3.2 Požadavky zadavatele k procesu

1. požadavek:

Po konzultaci s firmou SK-EKO bylo definováno potřebné množství zpracovaného znečištěného plastového odpadu na 5 - 7t měsíčně. Rozmezí závisí na množství, které je v daném měsíci k dispozici.

Při předpokladu pracovní doby 8 hodin denně (doba jedné směny), 20 pracovních dní v měsíci, musí být tedy za jednu směnu zpracováno 250 - 350kg odpadu. Tento údaj je směrodatný pro správný návrh procesu.

2. požadavek:

Zadavatel požaduje, aby navržené zařízení pro recyklaci znečištěného plastového odpadu bylo kompatibilní se stávajícími mlýny BOCO G50/60 a ASG 800 a jejich příslušenstvím.

3. požadavek:

Zadavatel dále požaduje, aby navržený proces byl jednoduchý na obsluhu kvůli kvalifikaci obslužného personálu a fyzicky zvladatelný dle platných norem pro manipulaci s materiálem.

4. požadavek:

Výstupní produkt – regranulát musí být zákazníkovi k dispozici v požadovaném tvaru pro zařízení na zpracování plastů - extrudér, který používá ve své výrobě.

5. požadavek:

Drť z mlýnu BOCO G50/60 a hotový regranulát se má skladovat v Big bag² pytlích. Jak vypadá Big bag pytel je znázorněno na následujícím obrázku č. 3.3.2.



Obr. 3.3.2: Big bag pytel

² Textilní vysokozátěžové pytle velkého objemu vhodné pro průmyslové aplikace

3.4 Návrh procesu recyklace

Nejprve je třeba uvést úvahu, podle které je proces navržen ve fázích probíhajících od rozdrcení na hrubou drť po drcení na jemnou drť.

Hrubou drť po čištění není třeba zcela dokonale osušit např. teplým proudícím vzduchem. Pro naši potřebu bude dostatečné pouze odkapání mycího média. Po odkapání následuje přímo jemné drcení. Regranulát bude zbaven vlhkosti na konci procesu recyklace průmyslovou sušičkou.

Úvaha je založena na těchto faktorech:

- a) vibracemi se zvýší účinnost odkapání
- b) zanedbatelné množství mycího média zpracování hrubé drti nevadí z důvodů níže popsaných

Výhoda úvahy: spojení dvou operací do jednoho zařízení, ekonomičtější varianta oproti sušení proudícím vzduchem atd.

Návrh procesu recyklace je uveden po jednotlivých bodech, v jakých se nacházejí v posloupnosti ve schématu v příloze č.4.

3.4.1 Roztřídění znečištěného plastového odpadu

Přesná kritéria a metodika roztřídění plastového odpadu je popsána v kapitole č. 3.1 a 3.2. Roztřídění se člení do tří základních kroků.

Krok 1 - po přijmutí je plastový odpad tříděn dle typu znečištění.

Krok 2 - vyřazení nevhodného plastového odpadu pro další zpracování u obou variant znečištění. Součástí tohoto kroku je i následující ověření. Plastový odpad, který je vhodný pro další zpracování, projde přes detektor kovů. Tím bude vyřazen z procesu recyklace plastový odpad obsahující jak kovové části, tak i příměsi.

Krok 3 – roztřídění dle konkrétního druhu plastu.

Tento úkon byl zvolen pro lepší přehled znečištěného plastového odpadu na skladě firmy SK-EKO. Zároveň tímto úkonem dojde k separaci jednotlivých druhů plastů od sebe a nastává možnost vyrábět granulát posloupně dle jednotlivých materiálů (PA, PS, PP, PE, ...).

3.4.2 Drcení – hrubá drť

Tento úkon bude prováděn pomocí mlýnu BOCO ASG 800, který má firma SK-EKO k dispozici.

Hrubá drť je z technologických i konstrukčních důvodů výhodnější pro čištění i zpracování plastového odpadu větších rozměrů (nárazeníky automobilů, popelnice a jiné).

Proces se výrobou hrubé drti urychlí, protože není třeba pracně ručním nářadím připravit větší plastový odpad k rozdrocení. Výsledný produkt mlýnu ASG 800 je drť o velikosti přibližně 50mm na délku.

Tento úkon byl zvolen pro snadnější dělení většího plastového odpadu a následné efektivnější odstranění nečistot.

Následující dvě operace v procesu lze provést ihned po sobě na jednom zařízení, protože je použito vložené upravené síto v mycím zařízení.

3.4.3 Čištění

Úkon čištění znečištěného plastového odpadu je podstatou navrhovaného procesu. Vytváří se jím plastový odpad velice blízký způsobem zpracování klasickému průmyslovému odpadu jednodruhového plastu. Tudíž našim cílem je efektivně a ekologicky vytvářet nový granulát.

Čištění bude probíhat pomocí vhodného automatizovaného mycího zařízení. Automatizovaný způsob byl zvolen, aby hrubá drť plastového odpadu byla řádně zbavena nečistot (u ručního způsobu hrozí nedostatečné odstranění nečistot), proces čištění proběhl rychleji a byl ekologičtější. Ekologičtější z důvodu možnosti opětovně použít mycí médium a menší spotřeby čistícího média. O jaké médium se jedná, je uvedeno v kapitole 3.5.2.

Pro čištění bude potřeba určit správnou dobu cyklu pro umytí jedné dávky hrubé drti. Tento údaj nám doporučí výrobce mycího zařízení.

Tento úkon byl zvolen, kvůli vytvoření vhodného polotovaru, který je možno zpracovat jako běžný průmyslový plastový odpad.

3.4.4 Filtrace hrubé drti od mycího média

Filtrace hrubé drti je úkon, kterým se pouze oddělí vyčištěný materiál od mycího média. Tento úkon je nezbytný pro další práci s již vyčištěným plastovým odpadem. K přefiltrování bude využíváno síto, které je součástí předchozího bodu procesu. Jak síto bude oproti sériově dodávanému upravené, je znázorněno v kapitole č. 3.5.2.

Jelikož síto je součástí automatické pračky dojde k úkonu filtrace hrubé drti již při vyjmutí síta s drtí z pračky. Z toho vyplývá, že na tento úkon není potřeba speciální zařízení, pouze zvedací mechanismus (množství plastového odpadu na jeden mycí cyklus může dosáhnout až dovoleného zatížení automatické pračky, tudíž obslužný personál by nebyl schopen pracovat s odpadem ručně).

Úkon filtrace hrubé drti byl zvolen, protože z technologického hlediska je nutný pro separaci drti od mycího média.

Následující dvě operace v procesu lze provést zároveň ve stejné době. Personální i prostorové kapacity firmy SK-EKO tuto volbu umožňují.

3.4.5 Odkapání hrubé drti pomocí vibrací

Odkapání hrubé drti je úkon, pomocí kterého bude zbaven povrch drti kapek mycího média. V této fázi procesu prozatím není třeba mít plastový odpad zcela zbaven vlhkosti. Odkapáním se pouze připraví drť pro následující operaci. Z toho vyplývá, že po odkapání nehrozí riziko poškození mlýnu na jemnou drť a nalepování se částic jemné drti mezi sebou.

Pokud nedopatřením pronikne velmi nepatrný zbytek mycího média do mlýnu, tak nože mlýnu přemění malé kapky v aerosoly, které stroj nijak nepoškodí a ani neohrozí další zpracování jemné drti.

Odkapání bude realizováno pomocí vibračního zařízení, které bude vyrobeno přímo na upravené síto automatizované pračky.

Suchá hrubá drť bude přesypána do připravených Big bag pytlů kvůli následné manipulaci. Tento úkon byl zvolen pro úplné odstranění zbytků mycího média z hrubé drti. Tento způsob osušení je pro náš proces dostačující a ekonomicky šetrnější než sušení např. teplým proudícím vzduchem.

3.4.6 Zpracování mycího média

Úkon zpracování mycího média je nezbytný, aby byla zachována ekologie i ekonomika procesu.

Jak je znázorněno ve schématu recyklace v příloze č. 4, s mycím médiem bude naloženo dvěma možnými způsoby.

První možnost je médium přefiltrovat a opětovně použít. Filtraci nemusí být prováděna po každém cyklu, pokud je čištěn plastový odpad varianty A. Opětovné použití přichází v úvahu, pokud médium stále má schopnost snižovat povrchové napětí nečistot, tím zlepšit smáčivost nečistoty a odstranit je z povrchu materiálu. Pokud mycí médium již nemá dostatečnou výše popsanou schopnost (na drti zůstávají zbytky nečistot, médium obsahuje na pohled příliš rozpuštěné mastnoty,...) je nezbytné jej ekologicky zlikvidovat. Likvidaci proběhne ve spolupráci např. s chemickou firmou Synthesia a.s. Pardubice, která zajišťuje likvidaci odpadních vod.

3.4.7 Drcení – jemná drť

Tento úkon bude prováděn pomocí mlýnu BOCO G50/60, který má firma SK-EKO k dispozici.

V mlýnu bude drcena hrubá drť, která se velmi rychle přetvoří ve výsledný produkt. Výsledný produkt je jemná drť o velikosti přibližně 5mm, která je vhodná jako polotovar pro zpracování v regranulačním zařízení. Jemná drť se díky svým vlastnostem řadí mezi sypké materiály a také s ní podle tohoto hlediska lze nakládat. Drť pomocí odsávacího zařízení lze dopravit z mlýnu potrubím do připravených Big bag pytlů.

V této fázi procesu se nesmí zapříčinit spojení jemné drti jednoho druhu plastu s jiným, protože po této operaci již dochází k výrobě taveniny nového granulátu a došlo by ke znehodnocení dávky. Obsluha musí provést při každé změně druhu plastu kontrolu, zda se na dopravníku mlýnu G50/60 nenachází zbývající hrubá drť předchozího druhu plastu a v odsávacím zařízení prachové zbytky předchozího druhu plastu.

3.4.8 Regranulace

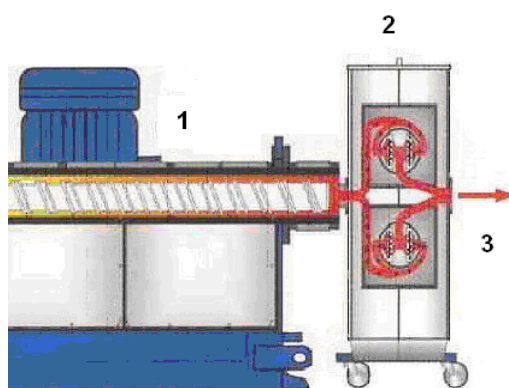
Pro návrh procesu regranulace se vychází z velké části z teoretických znalostí o výrobě granulátu a z materiálů společností, které se zabývají výrobou techniky pro zpracování plastů (extrudační zařízení, peletizační systémy).

Proces regranulace je navržen k současné dostupné technologii a moderní technice. Zároveň je ale možné regranulaci realizovat pomocí použitého (bazarového) zařízení pokud se v době realizace naskytne možnost jeho pořízení.

Pro náš řešený proces byla vybrána metodika tvorby granulátu za tepla. Tento způsob je kompaktnější z hlediska zařízení nacházejícího se za vytlačovací hlavou regranulačního stroje.

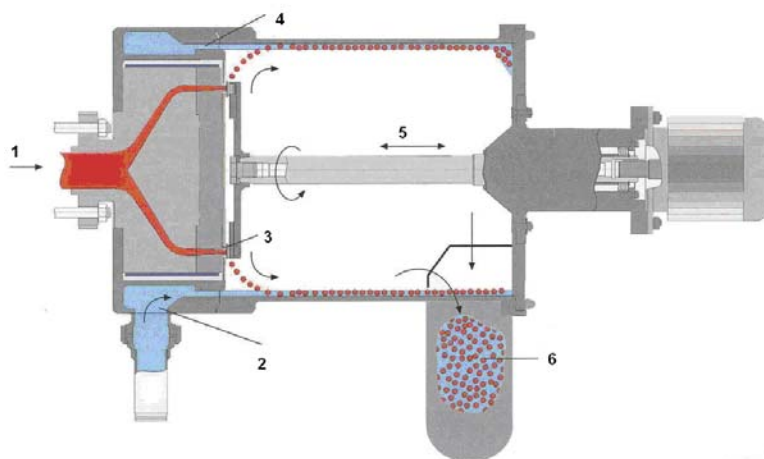
Nejdříve se z jemné drti vytvoří tavenina pomocí extrudačního šneku a intenzivního ohřevu na teplotu tání aktuálně zpracovávaného druhu plastu.

Tavenina je protlačována skrz filtry, aby byla zaručena úplná čistota vznikajícího regranulátu. Tento proces je znázorněn na obrázku č. 3.4.8-1.



Obr.3.4.8-1: Proces tavení 9193 [21]
(1-Extrudační šnek spolu s ohřevem,
2- Filtrační zařízení, 3- Výstup
taveniny- tavenina vstupuje do
granulační hlavy)

Další zpracování přefiltrované taveniny je již samotná tvorba regranulátu. Sekací nůž spolu s chladicí lázní tvoří jednu sestavu paletizačního systému. Sestava je znázorněna na následujícím obrázku č. 3.4.8-2.



Obr. 3.4.8-2: Tvorba granulátu [21]
 (1- Přefiltrovaná tavenina přicházející do granulační hlavy, 2- Kapalina ochlazující nasekané granule, 3- Rotační nůž s možností nastavitelného přitlaku – snadná změna velikosti granulátu, 4- Vodní prstenec – zajišťuje plynulý odtah granulí do zásobníku, 5- Pohon rotačního nože s posuvem (elektromotor s pneumatickým posuvem), 6- Zásobník vyrobeného granulátu)

Další operace po vyrobení granulátu je odseparování granulí od chladicí kapaliny. Separaci bude provedena vhodným systémem odstředění vody.

Výsledný produkt – regranulát bude mít tvar válečků. Velikost válečků lze snadno měnit dle požadavků zákazníka. Jak je znázorněno ve schématu, velikost regranulátu lze měnit posuvem rotačního nože.

Příklad regranulátu a rotačního nože je uveden na obrázcích č. 3.4.8-3,4.



Obr. 3.4.8-3: Rotační nůž [19]



Obr. 3.4.8-4: Příklad regranulátu – tvar válečku [19]

Po odseparování regranulátu od chladicí kapaliny je materiál připraven ke konečnému sušení.

3.4.9 Sušení regranulátu

Posledním technologickým úkonem je sušení regranulátu. Sušením bude zbaven hotový regranulát přebytečné vlhkosti zcela nebo na stav, který je nazýván rovnovážná vlhkost, která závisí na okolních podmínkách, a to na teplotě okolí a na relativní vlhkosti vzduchu. Sušení je nezbytné, protože předchozí operace byla granulace za tepla, při níž prochází granule vodní lázní.

Pro náš návrh byla zvolena metodika sušení horkým vzduchem s nuceným oběhem vzduchu. Tento způsob sušení je ekonomičtější varianta oproti vakuovému způsobu, ale proces sušení probíhá pomaleji.

Důležité pro správné vysušení je stanovit optimální dobu a teplotu sušení. Příslušné údaje pro konkrétní druhy plastů jsou uvedeny v tabulce č. 3.4.9.

Tab. 3.4.9: Doporučené doby sušení pro nejběžnější termoplasty.[5]

PLAST	PE	PP	PS	ABS	SAN, ASA	PA6	PA66	PA11, PA12	PMMA	PC	POM	PBT	PPO	PU
teplota sušení /°C/	*50-70	*80	80	80	80	80	60-70	100	70-80	120-130	120-130	120	95-100	80
dobu sušení /hod/	*0,5 až 1	*05 až 1	3	3	3	7	6	3 až 6	2 až 4	4 až 20	4	2 až 4	1 až 2	3

3.4.10 Příprava regranulátu zákazníkovi

Vysušený regranulát bude zákazníkovi připraven v množství, které požaduje pro svůj odběr. Regranulát bude uskladněn do Big bag pytlů, každý druh plastu zvlášť. Regranulát se musí skladovat na suchém místě.

3.5 Výběr vhodných zařízení

3.5.1 Předpoklady

Zařízení, vybírané pro návrh procesu recyklace znečištěných plastů je uvedeno ve sledu podle kapitoly č. 3.4.

Zařízení převážně pochází z produkce českých výrobních nebo dodavatelských podniků. Jako alternativu ke konkrétním nakupovaným zařízením se může při realizaci využít aktuální nabídky podniků zabývajících se prodejem použitých strojů. Ovšem za podmínky, že použitý stroj bude mít stejné nebo podobné parametry jako stroj navržený pro danou operaci.

Zařízení je vybíráno s ohledem zpracování zadaného množství znečištěného plastového odpadu. Samotné regranulovací zařízení a sušička mohou být použity i pro regranulaci čistého průmyslového odpadu z důvodu využití výkonnosti těchto zařízení a možnosti vyprodukovat maximální zisk.

3.5.2 Výčet zařízení

1. Detektor kovů Elcon 700

Jedná se o plochý detektor magnetických i nemagnetických kovů. Je určen pro montáž na dopravníkové pásy. Detektor je schopen zjistit přítomnost kovů hlavně v menších detekčních výškách. Pomocí detektoru jsou chráněna zařízení použitá v procesu recyklace před nežádoucím poškozením. Detektor Elcon je znázorněn na následujícím obrázku č. 3.5.2-1.



Obr. 3.5.2-1: Detektor Elcon

Detektor má funkční snímací plochu 690 x 410mm. Dodavatelem zvoleného detektoru je firma Kuboušek s.r.o. Cena detektoru je stanovena dodavatelem na 72 000 Kč včetně DPH. [26]

2. Mlýn Boco ASG800

Informace o mlýnu jsou uvedeny v příloze č. 5. Mlýn je již v dispozici firmy SK-EKO, tudíž do konečného ekonomického zhodnocení se nezapočítává.

3. Čistící tenzid - Simple Green Regular

Jedná se o čistící přípravek vhodný pro většinu průmyslových aplikací, využitelný ve strojním, ručním mytí i myčkách.

Přípravek je směs obsahující méně než 5% alifatických uhlovodíků a méně než 15% neionogenních tenzidů a přibližně 80% superčisté vody, neobsahuje hydroxidy. Pro navrhovanou automatickou průmyslovou pračku se ředí v poměru 1:50 – 1:20 v závislosti na míře znečištění. Přípravek má schopnost odstraňovat nečistoty již při pokojové teplotě. Díky této vlastnosti není nutnost příliš ohřívat mycí médium v průběhu čištění.

Tento tenzid není třeba před likvidací neutralizovat, je snadno odbouratelný. Přípravek dodává firma LIBERTY-TOP-TECH s.r.o. (simplegreen.cz), která zastupuje firmu Simple Green na českém trhu. Balení přípravku je znázorněno na následujícím obrázku č. 3.5.2-2.



Obr. 3.5.2-2: Čistící tenzid [27]

Cena přípravku je stanovena dodavatelem na 1548Kč včetně DPH / 10kg.

4. Simplex 100 DGT - automatická průmyslová pračka

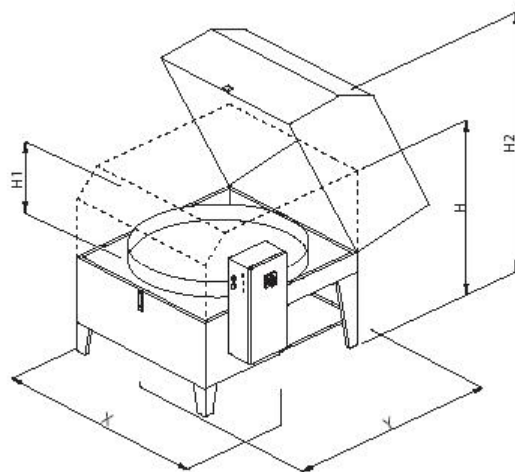
Jedná se o automatickou průmyslovou pračku pro mytí ostřikem za tepla. Proces mytí je řízen digitálním systémem DGT.

Čištěné předměty jsou v pračce umístěny v nerezovém koši s rotačním pohybem při procesu mytí. Tím stroj zvyšuje svoji efektivitu. Zvolený typ pračky

obsahuje odsávač par, automatickou kontrolu hladiny mycího média a dopouštění, čerpadlo a filtr čerpadla na sací větví. K našemu účelu bude dostačující základní verze pračky bez zvláštního příslušenství. Napájení pračky je z 3- fázové sítě (400V). Příkon v „eko“ režimu udává výrobce 6,1kW.

Na obrázcích č. 3.5.2- 3,4 jsou uvedeny základní parametry pračky a její vizualizace.

H1 = 500mm
H = 1260mm
H2 = 1920mm
X = Y = 1400mm
Ø rotačního koše = 970mm
Únosnost = 200kg
Objem nádrže = 210l



Obr. 3.5.2 -3: Základní parametry a vizualizace

Výrobce zařízení je firma QTS – nýty s.r.o. Bohumín. Cena automatické pračky Simplex 100 DGT je stanovena výrobcem na 207000 Kč včetně DPH.



Obr. 3.5.2-4: Automatická průmyslová pračka [28]

5. Odkapávací koš

Znečištěný plastový odpad je nyní ve formě hrubé drti. Ta je třeba vložit do pračky Simplex 100 DGT a následně do vibračního odkapávače. Z těchto důvodů bude vyroben speciální odkapávací koš.

Upravený koš musí mít tyto vlastnosti:

- a) velikost oka síta, ze kterého bude koš vyroben, je maximálně 10mm
- b) musí obsahovat upínací prvky pro montáž do pračky i odkapávače
- c) musí obsahovat prvky umožňující manipulaci pomocí mechanických zvedáků
- d) velikost upraveného koše je maximálně: celkový Ø = 950mm, celková výška = 300mm
- e) materiál koše musí být nerezavějící (nebo s vhodnou povrchovou úpravou) a konstrukčně musí obstát vibracím

Konkrétní návrh upraveného koše bude vytvořen ve spolupráci se zámečnickou výrobní firmou po dodání pračky dodavatelem.

Na následujícím obrázku č. 3.5.2-5 je znázorněn vhodný polotovar (síto s dvojitým krepem) pro výrobu upraveného koše.



Obr. 3.5.2-5: Síto s dvojitým krepem [29]

Tento výrobek dodá zadavatelem vybraná zámečnická výrobní firma jako hotový výrobek. Předpokládaná cena výrobku je do 6000 Kč včetně DPH.

6. Vibrační odkapávač

Návrh tohoto zařízení slouží jako koncept pro kooperaci s konstrukční firmou. Zařízení bude vhodné vyrobit v následujícím provedení. Jednoduchý stabilní rám, na kterém je základová deska upnutá pomocí pružných členů (gumové silentbloky, pružiny). Na základové desce je upnuta odkapávací nádrž s otevíracím víkem. Odkapávací koš je v nádrži upnut např. stojinami a vhodnými rychloupínacími prvky skrz nádrž k základové desce. Toto řešení je vhodné

aplikovat kvůli zabezpečení efektivního přenosu vibrací na materiál v koši. Velikost nádrže musí být uzpůsobena velikosti odkapávacího koše.

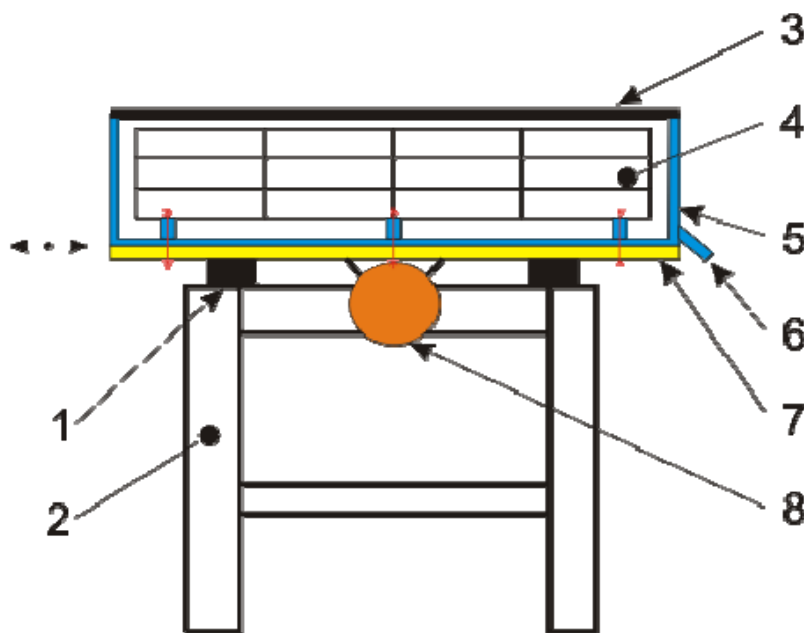
K základové desce musí být upnut elektrický příložný vibrátor dostatečných parametrů. Parametry zvolí konstruktér odkapávače na základě konzultace s dodavatelem příložného vibrátoru a následujícími údaji. Množství materiálu na jeden cyklus operace odkapání je stanoven na hodnotu maximálně 35kg.

Na obrázku č. 3.5.2 -6 je uveden příklad příložného vibrátoru.



Obr. 3.5.2 -6: Příložný vibrátor [30]

Koncepce vibračního odkapávače je názornější na obrázku č. 3.5.2-7.



1 - Pružné členy

2 - Rám

3 - Vloko

4 - Koš

5 - Odkapávací nádrž

6 - Výpusť

7 - Zákl.deska

8 - Příložný vibrátor

Obr. 3.5.2 -7:
Vibrační odkapávač

Toto zařízení dodá zadavatelem vybraná konstrukční firma jako hotový výrobek. Přepokládaná cena tohoto zařízení je do 35 000 Kč včetně DPH.

7. Mlýn Boco G50/60

Informace o mlýnu jsou uvedeny v příloze č. 5. Mlýn je již v dispozicích firmy SK-EKO, tudíž do konečného ekonomického zhodnocení se nezapočítává.

8. Regranulační zařízení

Regranulační zařízení je složeno z klasického jednošnekového extrudéru, filtru taveniny a paletizační hlavy. Filtr taveniny je nutný, aby nedošlo ke znečištění granulátu. Paletizační hlava je zařízení, které vytváří granulát a pomocí vodní lázně odplavuje nasekaný granulát do zásobníku.

a) Bocomatic EB70

Jedná se o jednošnekový extrudér. Tento extrudér má šnek o Ø70mm, délku od 25· Ø D a výkon pohonného elektromotoru šneku od 30kW.

Extrudér je složen z těchto základních komponentů:

- a) Rám
- b) Elektrická a řídící skříň
- c) Převodovka
- d) Hlavní motor – asynchronní s frekvenčním měničem (plynulé řízení otáček)
- e) Komora – pracovní válec se šnekem
- f) Sada topných zón s chladícími ventilátory

Extrudér výrobce dimenzuje dle poptávky zákazníka. Extrudér musí být schopný pokrýt produkci regranulátu ze znečištěného plastového odpadu (cca 35 kg/h) i průmyslového plastového odpadu (cca 100 kg/h). Proto bude výkonově postaven tak, aby výstup regranulátu byl 200 kg/h s úvahou dostatečné výkonové rezervy. Zvolený extrudér je vyobrazen na následujícím obrázku č. 3.5.2-8.



Obr. 3.5.2-8: Extrudér Bocomatic [31]

Extrudér vyrábí firma Boco Pardubice s.r.o. Cena je stanovena výrobcem na 850 000 Kč včetně DPH.

b) Erema CL 104

Jedná se o filtr taveniny, který se montuje přímo na výstup extrudéru, tudíž filtrace a peletizace následující přímo v jedné ose. Filtr pracuje jako otočný děrovaný disk. Aktivní filtrační plocha má velikost 85 cm². Filtr je znázorněn na následujícím obrázku č. 3.5.2-9.



Obr. 3.5.2-9: Filtr taveniny Erema CL 104 [21]

Filtr vyrábí firma Erema G.m.b.H Linz (A). Cena filtru je stanovena na 80 000 Kč včetně DPH.

c) Erema HG 82

Jedná se o peletizační systém pracující na principu uvedeném výše v kap. 6.9. Systém zpracuje minimálně 50 kg/h a maximálně 250 kg/h regranulátu. Peletizační systém je znázorněn na následujícím obrázku č. 3.5.2-10.



Obr. 3.5.2 -10: Peletizační systém Erema HG 82 [21]

Peletizační systém vyrábí firma Erema G.m.b.H Linz (A). Cena je stanovena na 120 000 Kč včetně DPH.

9. Sušárna Memmert UFE 700

Sušárna je horkovzdušná s nuceným prouděním vzduchu. Tento typ sušáren ekonomicky méně zatěžuje realizaci navrhovaného procesu recyklace. Zároveň odpadá nutnost pořízení speciálního příslušenství jako v případě vakuových sušáren. Tato sušárna má objem 416 l, součástí sušárny je několik polic pro rozmístění sušených předmětů. Tento objem je dostatečný pro navrhovanou denní produkci granulátu.

Teplotu v komoře je možno regulovat od +30°C do 250°C. Teplota v komoře je snímána čtyřkanálovými čidly, která se vzájemně kontrolují. Sušárna je vybavena mikroprocesorovým regulátorem s fuzzy – logikou.

Vlastnosti, které lze pomocí regulátoru nastavit:

1) nastavení cyklu do 4 segmentů:

- a) prodleva před zapnutím
- b) čas zapnutí ohřevu a čas dosažení požadované teploty
- c) doba setrvání na požadované teplotě
- d) vypnutí

Tyto 4 segmenty lze nastavit v rozmezí 1min až 999h.

2) otáčky ventilátoru (nastavitelné po 10% rozsahu)

3) cykly lze nastavit v různých modifikacích do týdenního časového programu

Teplotní odchylka sušárny:

- a) prostorová při 150°C: menší než $\pm 2,2^{\circ}\text{C}$
- b) časová při 150°C: menší než $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$

Napájení sušárny je ze 3 – fázové sítě 400V. Udávaný příkon je 4kW.

Na následujícím obrázku č. 3.5.2-11 je znázorněna navržená sušárna.



Obr. 3.5.2-11: Sušárna Memmert UFE 700 [32]

Zařízení dodává na český trh firma Fisher Scientific s.r.o. Pardubice. Cena udávaná dodavatelem je 116 136 Kč včetně DPH.

3.6 Rozbor docíleného úkonu jednotlivých zařízení

Detektor kovů Elcon 700

Detektor kovů bude namontován na pásovém dopravníku mlýnu Boco ASG800. Úkol detektoru je zjistit, zda se ve znečištěném plastovém odpadu nenachází kovové části nebo příměsi. Detektor svoji kontrolou propustí pouze znečištěný plastový odpad vhodný pro další zpracování. Tím pádem nedojde k poškození obou mlýnů a extrudéru. Plastový odpad, který neprojde kontrolou, bude vyrazen jako nevhodný pro proces recyklace.

Mlýn Boco ASG 800

Mlýn vykonává první operaci v navrhovaném procesu recyklace. Celistvé díly znečištěného plastového odpadu přemění v drť. Přeměnu mlýn realizuje pomocí rotoru s noži. Rozemletí probíhá v sekací komoře a rozemletý materiál prostupuje skrz síto uvnitř stroje.

Cílem tohoto zařízení v navrhovaném procesu je vytvořit hrubou drť o velikosti přibližně 50mm, jelikož drť této velikosti je snadněji zpracovatelná v následujícím zařízení – automatické pračce. Vytváření hrubé drti mlýnem je efektivnější k přípravě materiálu na následující operaci, než-li dělení ručními nástroji příliš velkého plastového odpadu. Zároveň tím je možné zvolit menší zařízení na čištění plastového odpadu.

Odkapávací koš

Odkapávací koš je víceúčelová pomůcka pro manipulaci a zpracování hrubé drti v automatické pračce a vibračním odkapávači. Koš je vyroben ze síta s malým rozměrem ok, tudíž nedojde roztroušení hrubé drti v prostoru pračky a odkapávače. Koš nijak neovlivní kvalitu provedení následných operací, pouze obslužnému personálu usnadní zpracování hrubé drti.

Simplex 100 DGT - automatická průmyslová pračka

Hrubou drť umístí obslužný personál do odkapávacího koše a vloží do automatické pračky. Zvolená automatická pračka čistí materiál na principu ostřiku. Materiál je kromě ostřiku mycím médiem z několika poloh ve stroji, uváděn navíc do rotace. Tím je zajištěno od výrobce pračky dokonalé očištění materiálu. Jelikož bude využito odkapávacího koše již v operaci čištění, nemusí obslužný personál následně

pracně vyjímat drť z pračky. Pouze odkapávací koš s obsahem přemístí do vibračního odkapávače.

Cíl automatické pračky je přeměnit znečištěný plastový odpad v čistý průmyslový odpad co nejméně náročným a nejkratším způsobem bez nutnosti zásahu lidské práce přímo do procesu čištění. Po vyčištění je plastový odpad připraven k recyklaci, která je v průmyslu běžně používána k výrobě regranulátu.

Vibrační odkapávač

Odkapávací koš je jednoúčelové zařízení, kterým budou odstraněny kapky mycího média. Navržený stroj pracuje na principu silných vibrací. Vibrace střesou kapky mycího média z povrchu hrubé drti do odkapávací nádrže. Předpokládám, že vibrace vytvářené příložným vibrátorem jsou natolik silné, že není třeba odkapávací koš s obsahem uvádět do rotačního pohybu. Tím pádem proces odkapání není náročný na zařízení ani potřebnou dobu na jeden cyklus odkapání.

Cílem vibračního odkapávače je rychlé osušení hrubé drti, tudíž je plastový odpad ihned připraven ke zpracování v mlýnu na jemnou drť.

Mlýn Boco G50/60

Tento mlýn pracuje na stejném principu jako typ ASG800 pouze s rozdílem, že vytváří jemnou drť. S jemnou drtí již není snadná manipulovatelnost, proto součástí mlýnu je odsávací zařízení. To pracuje na principu vysávání drti ze sekací komory proudícím vzduchem. Vysávaná drť je vedena pružným potrubím do přistaveného Big –bag pytle.

Cílem mlýnu je vytváření jemné drti o velikosti vhodné pro snadnou extrudaci. Drť odsáváním do Big – bag pytle je vhodně připravena pro správné dávkování do násypky extrudéru.

Regranulační zařízení

a) Extrudér

Extrudér roztaví jemnou drť na taveninu. Po naplnění násypky přechází drť do komory šneku, kde je vlivem tvaru šneku unášena dopředným pohybem. Při průchodu komorou je drť ohřívána topnými tělesy na povrchu komory. Na konci šneku vzniká tavenina, která je důkladně promísená šnekem. Z výstupní trysky je tavenina vytlačována do připojeného filtru taveniny. Tímto zařízením bude materiál připraven pro samotnou tvorbu regranulátu.

b) Filtr taveniny

Filtr taveniny zabraňuje znečištění výstupního produktu – regranulátu např. prachem. Zároveň pomocí filtru se usměrní proudění taveniny do peletizační hlavy, tím se vytváří kvalitnější granulát a snižuje se riziko přítomnosti plynových bublin. Po přefiltrování taveniny se může tavenina bezpečně vtlačovat do peletizační hlavy.

c) Peletizační systém

Tavenina prochází kanály v děrované desce, z kanálků je vytlačena nekonečná struna, která je seřezávána rotačním nožem. Odsekané granule jsou strhávány proudem chladicí kapaliny do zásobníku. Po zchlazení v lázni a odplavení se regranulát odstředí od chladicí kapaliny a regranulát je připraven k sušení.

Sušárna Memmert UFE 700

Sušárna zbavuje materiál vlhkosti za působení tepla a nuceného proudění vzduchu v komoře sušárny. Proces sušení je možno nastavit do několika segmentů včetně nastavení teploty, doby sušení a výkonu ventilátoru.

Doba a teplota sušení vždy bude nastavena podle konkrétního druhu plastu (viz kap. 3.4.9, tab. 3.4.9). Do paměti regulátoru sušárny se nastaví předvolené hodnoty pro konkrétní druh plastu. Regranulát se musí rovnoměrně rozmístit v komoře do několika polic. Tím je zajištěno zaručené vysušení regranulátu.

Cílem sušárny je regranulát zbavit vlhkosti na požadovanou míru zákazníkem nebo do stavu, kdy je dosaženo rovnovážné vlhkosti obsažené v regranulátu. Po vysušení regranulátu je výsledný produkt připraven k expedici k zákazníkovi.

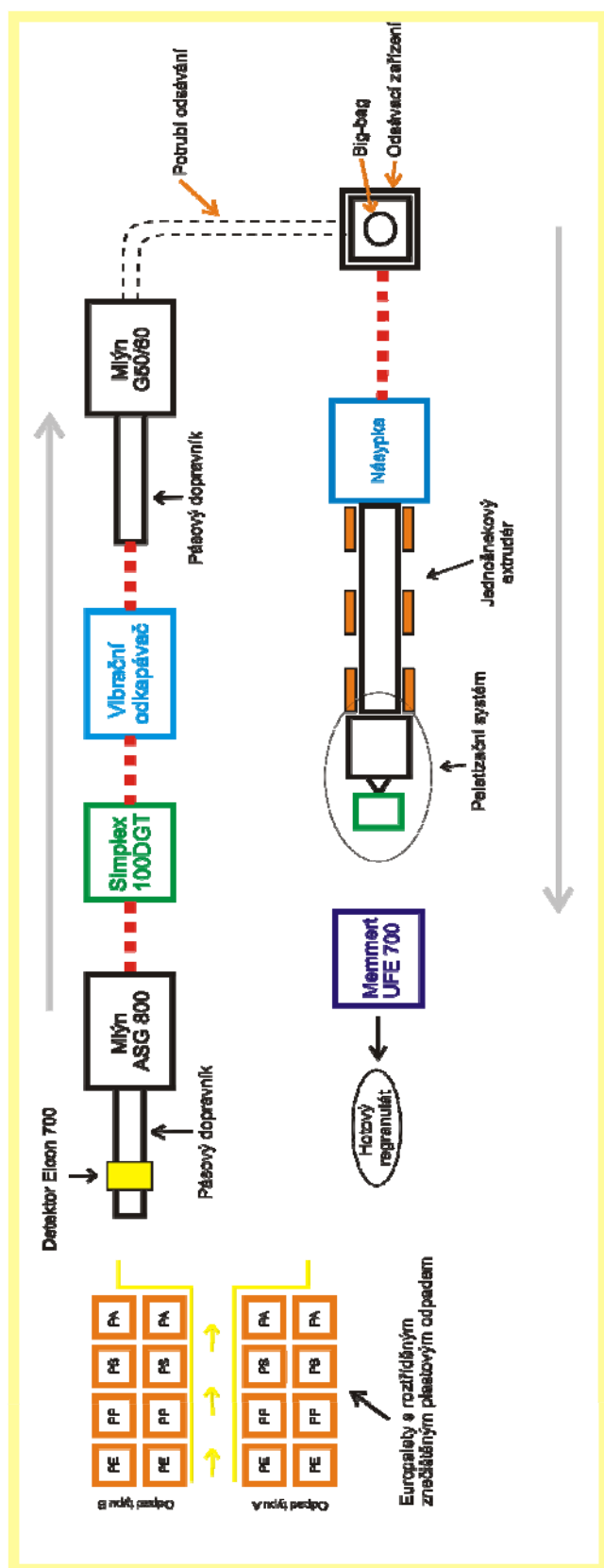
3.7 Umístění navržené linky v prostorách firmy, potřebné dopravní zařízení

Jednotlivá zařízení jsou umístěna ve sledu s návrhem procesu (kap. č. 3.4). Linka bude vytvořena do tvaru písmena „U“ z důvodu úspory místa a lepší návaznosti regranulovacího stroje na odsávací zařízení mlýnu Boco G50/60. Ve schématu níže je uveden elektrický kladkostroj s kolejnicemi. Toto zařízení slouží k usnadnění manipulace s materiálem, který bude v odkapávacím koši, ale i materiál uskladněný v Big – bag pytlích. Kladkostroj může být řešen jako plošná přeprava po hale. Vhodný typ je znázorněn na následujícím obrázku č. 3.7-1.



Obr. 3.7-1: Elektrický kladkostroj pro plošnou přepravu [33]

Parametry dopravního zařízení se stanoví na základě znalosti maximální hmotnosti součástí, které budou zdvihány (např. naplněný Big-bag pytel, odkapávací koš). Hodnoty hmotností budou známy po vyrobení všech součástí, které budou zdvihány. Soustava zařízení, jak budou ve firmě SK-EKO umístěny, je znázorněno na následujícím obrázku č. 3.7-2.



Obr. 3.7-2: Umístění linky

4 Diskuze

Nejdříve je potřeba zhodnotit ekonomickou náročnost navrženého procesu vzhledem ke stávajícímu stavu firmy SK-EKO.

Nynější stav je následující:

Firma SK-EKO prodává jednodruhovou plastovou drť zákazníkům v průměrné ceně 8 Kč/kg drti. Cena se liší dle konkrétního druhu plastu. Náklady na výrobu jednoho kilogramu se pohybují mezi 3-5 Kč/kg drti.

Stav po zavedení navrženého procesu:

Cílem je poskytnout zákazníkům jednodruhový regranulát. Tím se zvýší cena výstupního produktu firmy SK-EKO, ale zároveň požadavky na náklady spojené se zavedením navrženého procesu. Dle údajů poskytnutých zadavatelem se prodejní cena regranulátu pohybuje okolo 1 €/kg regranulátu v závislosti na druhu plastu. Pořízení všech navržených zařízení vyjde zadavatele na 1 487 684 Kč včetně DPH. Předpoklad je, že zavedení navrženého procesu bude mít návratnost za 3 roky svého provozu.

Při úvaze zpracování průměrně 250kg znečištěného plastového odpadu denně a tří let provozu (180t materiálu, 720 pracovních dní) vychází náklady na pořízení 8,265 Kč/kg prodaného regranulátu.

Dále je třeba zhodnotit náročnost zavedení navrženého procesu. Většina zvolených zařízení je z české produkce, tudíž dodání se obejde bez nutnosti složité distribuce a zároveň montáž provede přímo výrobce.

V prostoru firmy SK-EKO kde se má navržený proces realizovat je v současné době sklad materiálu a mlýn Boco G50/60. Pro realizaci je nutné tento krytý prostor vyklidit. Mlýn Boco ASG 800 se nachází v jiném prostoru firmy SK-EKO. Tento mlýn musí být demontován a následně přemístěn do nového prostoru, kde navržený proces bude realizován.

Poté může dojít k montáži jednotlivých zařízení ve sledu dle schématu na obr. 9.1-2. Funkčnost a výkon navrženého procesu je dimenzován s dostatečnou rezervou. Rezerva je potřebná z důvodu kolísání množství zpracovávaného znečištěného plastového odpadu.

Větší předimenzování bylo nutné u regeneračního zařízení a sušárny. A to z důvodu možnosti zpracovávání průmyslového plastového odpadu. Tím dochází ke značnému rozšíření vyráběného sortimentu, z čehož vyplývá i vyšší návratnost na pořízení navrženého procesu.

Efektivita zpracování znečištěného plastového odpadu je podporována i zavedením automatizovaných zařízení a zavedením elektrického kladkostroje pro plošnou přepravu materiálu. Tím dochází k poklesu počtu obslužného personálu i nároky na jeho fyzickou zdatnost.

Při třídění znečištěného plastového odpadu je nutné dodržovat výše popsaná kritéria třídění. Tím nedojde k nechtěnému zpracování nevhodného materiálu nebo k poškození zvolených zařízení. Po zavedení a odzkoušení systému třídění je možnost inovovat způsob skladování roztříděného materiálu vzhledem ke snadnější manipulovatelnosti materiálem.

5 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou recyklace znečištěných odpadních plastů. Firma SK-EKO Pardubice s.r.o. se zabývá recyklací průmyslového plastového odpadu a zároveň jejím záměrem je věnovat se zpracovávání znečištěných odpadních plastů. Z tohoto důvodu bylo nutné vypracovat návrh procesu recyklace těchto plastů. K realizaci procesu má firma SK-EKO již dva vhodné mlýny na výrobu drti. Návrh byl vypracován dle znalostí recyklace plastů a výroby granulátu. Tyto znalosti jsou popsány v teoretické části této práce. Experimentální část se zabývá vývojem samotného procesu, včetně výběru zařízení potřebných pro realizaci procesu.

Cílem této práce bylo navrhnout posloupný proces recyklace znečištěných odpadních plastů a ekonomicko- funkční zhodnocení navrženého procesu a zařízení s ohledem na ceny nákladů na 1kg regranulátu.

První stanovený cíl práce je splněn díky vytvoření logického návrhu operací v procesu a návrhem vhodných zařízení, které jsou schopny vykonávat požadované funkce v jednotlivých operacích procesu. Zařízení je navrženo s ohledem na požadované množství zpracovávaných odpadních plastů, které bylo stanoveno zadavatelem na 5-7t/měsíčně a možnosti nákupu co nejvíce vybraných zařízení na českém trhu. Samotný proces je navržen s ohledem na ekologii procesu, možnost obsluhy pouze zaškoleným personálem, na návaznost jednotlivých navržených operací a na velikosti prostoru firmy SK-EKO, který je určen pro realizaci tohoto návrhu.

Druhý cíl je zaměřen na realizační náklady navrženého procesu. Náklady jsou vyhodnoceny na 1kg výstupního produktu (regranulátu) při úvaze návratnosti nákladů za 3 roky provozu navrženého procesu. Celkové náklady činí 1 487 684 Kč včetně DPH. Z tohoto údaje vyplývají náklady na 1kg výstupního produktu, které činí 8,265 Kč/kg. Jelikož poměr nákladů a konečné ceny výstupního produktu je přijatelný pro zadavatele, navržený proces je možné realizovat (např. za podpory spolufinancování rozvojovými fondy Evropské unie). Funkčním zhodnocením se zabývá kapitola 8 a 10. Spočívá v kritickém rozboru úkonů vybraných zařízení a celkovým rozbořem navrženého procesu.

Přínosem této bakalářské práce bude pro firmu SK-EKO možnost nabídnout svým zákazníkům regranulát několika druhů plastů. Tím pádem oproti současnému stavu, kdy firma vyrábí pouze drť, bude produkovat i větší zisk. Zároveň realizací

tohoto návrhu se budou recyklovat plasty, které by se s největší pravděpodobností likvidovaly na skládkách a ve spalovnách. Tudíž realizace tohoto návrhu bude přínosná i pro ekologii v oboru zpracování plastových odpadů.

Seznam literatury

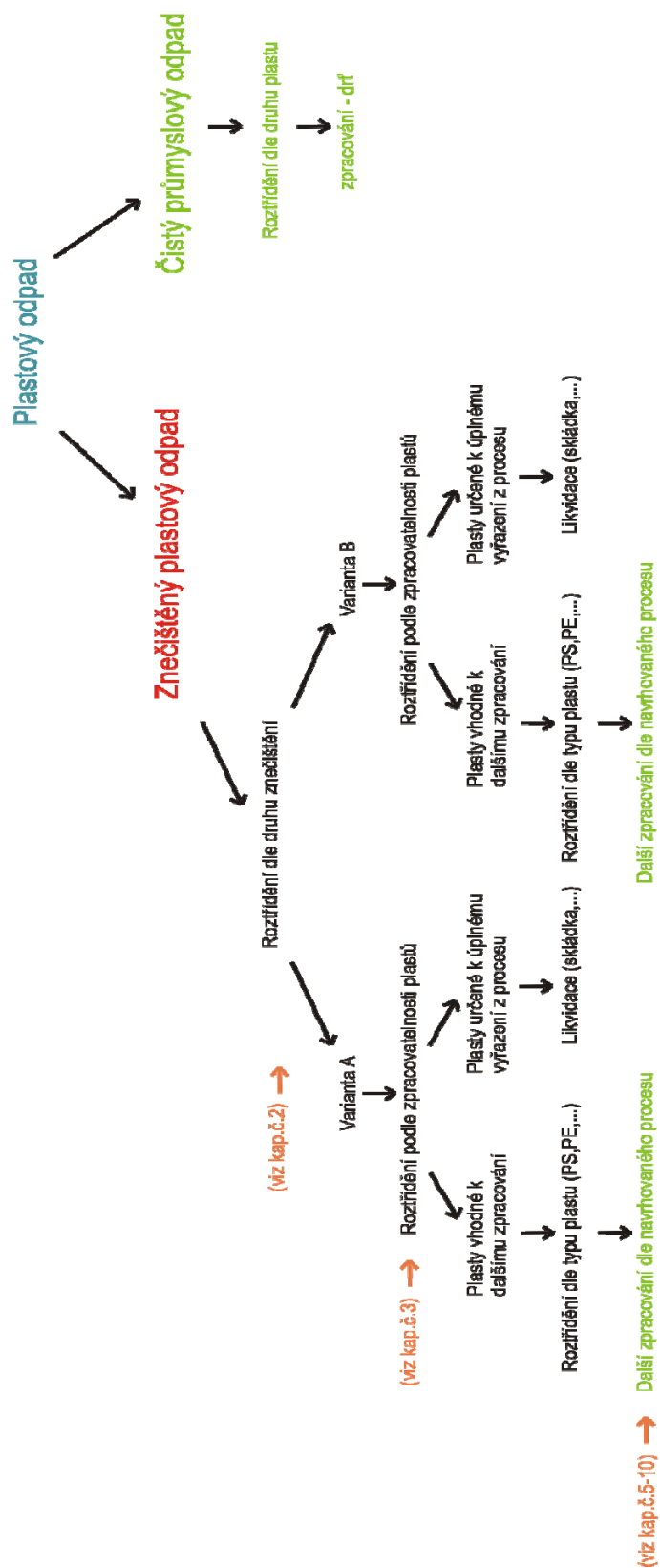
1. Melchiorre, M., Löhr, K.: *Recycling techniques, Plastic composites in polymeric materials Encyclopedia*, J.C. Salomon Ed., CRC Press New York, 1996.
2. Bayer Material Science. [online] [cit. 2012-05-10]
www.search.bayermaterialscience.com
3. Právo na informace o životním prostředí. [online] [cit. 2012-05-10]
<http://www.ecn.cz/rtk/konzum/Text.htm>
4. Ekologie, Splast s.r.o.: *Plasty* [online] [cit. 2012-05-10]
<http://www.splast.cz/ekologie/>
5. Lenfeld, P.: *Technologie II_- 2.část (zpracování plastů)*, TU v Liberci, 2009. ISBN 978-80-7372-467-2
6. Datová banka materiálů pro umělé hmoty. Informační CD firmy RIWETA (verze 3.5) [cit. 2012-05-10]
7. Mleziva, J.: *Polymery – výroba, struktura, vlastnosti a použití*. Sobotáles, 2000. ISBN 80-859-2072-7
8. www.vscht.cz/chem_listy/docs/full/archiv/2001/09-pdf/556-562.pdf [online] [cit. 2012-05-8]
9. *Auto recyklace*, Toyota motor marketing Europe, 2002. [online] [cit. 2012-05]
www.toyota.de/images/car_recycling_brochure_EN_tcm281-210236.pdf
10. Martin, G.: *Lösen ist die Lösung (Řešením je rozpuštění)*. Umwelt Magazin 29, 2000. č. 4
11. FT UTB ve Zlíně: *Plasty a kaučuk*, 1999, roč. 36, č. 1
12. Kruliš, Z.: *Termoplasty v praxi*. Dashöfer, 2001. ISBN 80-862-2915-7

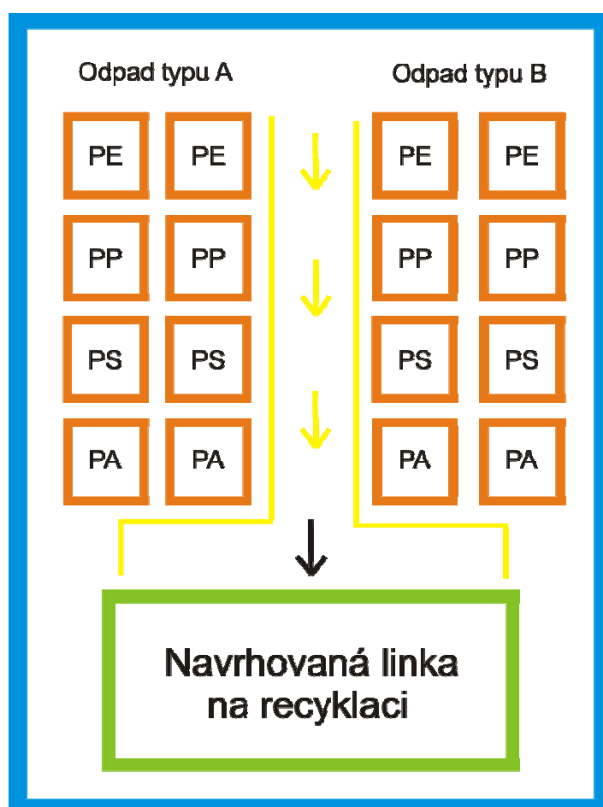
13. Praktická příručka o odpadních plastech [online] [cit. 2012-04-26]
www.wasteonline.org.uk/resources/InformationSheets/Plastics.htm#_Useful_publications
14. Wikipedie, otevřená encyklopedie: *Pyrolýza* [online] [cit. 2012-04-28]
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Pyrolýza>
15. Standard D. C.: *Recycle'92 5th Annual International forum and exposition*, Maack Business Services, 1992
16. FT UTB ve Zlíně: *Plasty a kaučuk*, 1999, roč. 36, č. 12
17. Výrobky z recyklovatelných materiálů [online] www.dkr.de/en/technik/233.htm
18. Wikipedie, otevřená encyklopedie: *Polymerizace* [online] [cit. 2012-05-3]
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Polymerizace>
19. TU v Liberci: *Technologie II.- Zpracování plastů* [online] [cit. 2012-05-10]
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/03.htm
20. FT UTB ve Zlíně: *Přípravné operace* [online] [cit. 2012-05-11]
http://web.ft.utb.cz/cs/docs/1._P____pravn____operace.pdf
21. Systémy recyklace plastů, Erema [online]
www.erema.at
22. Maňas, M.; Tomis, F.: *Výrobní stroje a zařízení: gumárenské a plastikářské stroje*. Brno: VUT, 1990. ISBN 80-214-0213
23. A.M. spol. s r.o.: Automatizace a mechanizace plastikářských provozů [online]
http://www.amcz.cz/editor/image/produkty_kategorie1/File/susarny/LPD.pdf
24. Šmidrkal, J.: *Tenzidy a detergenty dnes*. Chem. Listy, 1999. [online] [cit. 2012-04-20] <http://chemicke-listy.vscht.cz>
25. Krebs, J.: *Teorie zpracování nekovových materiálů*, TU v Liberci, 2006. ISBN 80-7372-133-3
26. Detektor kovů Elcon 700: Kuboušek s.r.o. [online] www.kubousek.cz

27. Čistící tenzid: LIBERTY-TOP-TECH s.r.o. [online] www.simplegreen.cz
28. Automatická průmyslová pračka: QTS-nýty spol. s r.o. [online] qts-nyty.cz
29. Síta s dvojitým krepem: ANSA- průmyslová síta [online]
www.prumyslovasita.cz
30. Vibrační odkapávač: HAS CZ a.s. [online] www.prumyslove-vibratory.cz
31. Mlýny a regranulační zařízení: BOCO Pardubice machines, s.r.o.
www.boco.cz
32. Sušárna: Memmert GmbH. [online] www.memmert.com
33. Elektrický kladkostroj: ITECO s.r.o. [online] www.iteco.cz

Seznam Příloh

Příloha č. 1- schéma roztřídění znečištěných odpadních plastů.....	72
Příloha č. 2- uspořádání roztříděného plastového odpadu.....	73
Příloha č. 3- ukázky znečištěného plastového odpadu.....	74
Příloha č. 4- schéma návrhu procesu recyklace.....	77
Příloha č. 5- Technický list mlýnu BOCO ASG 800 a BOCO G50/60.....	78





- prostory SK-EKO
- dopravní ulička
- Europalety s roztríděným odpadem
- recyklační linka

Příloha č. 3



Plastové součásti domácích spotřebičů (ABS, PS, PP) – současný stav
Zdroj: archiv SK-EKO



Plastové vany průmyslových lednic (PS)
Zdroj: archiv SK-EKO



Směs různého znečištěného plastového odpadu - současný stav, odpad ze vstřikování

Zdroj: archiv SK-EKO



Nejčastější případy ve směsi – černý plast = PA, Hnědý plast = neznámý, zelený plast = neznámý, Kroužek = vadný výrobek z PA + eleastomer

Zdroj: archiv SK-EKO



Plastová popelnice – ilustrační obrázek

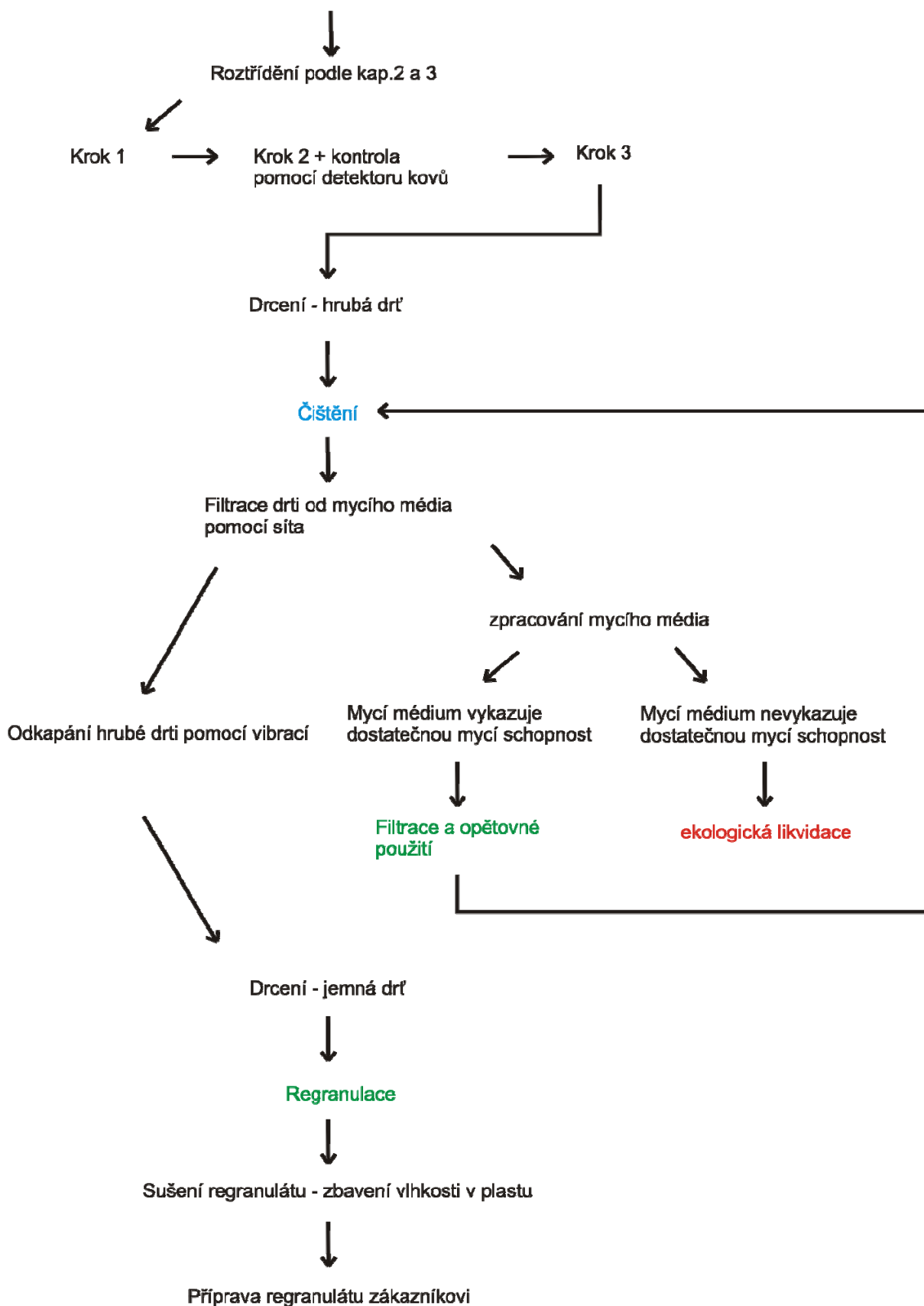
Zdroj: toitoi.cz



Poškozené plastové nárazníky automobilů -ilustrační obrázek

Zdroj: opravaplastu.cz

Přijmutí znečištěného plastového odpadu





KATALOGOVÝ LIST

firma je certifikována



Adresa: BOCO PARDUBICE machines, s.r.o., Čepí 1, CZ - 533 32 Pardubice • IČO: 60931655 • DIČ: CZ60931655
 Tel.: +420 466 797 011 • Fax: +420 466 797 012 • E-mail: info@boco.cz • http://www.boco.cz

JEDNOHŘÍDELOVÝ DRTIČ ASG

Typ: **ASG 600, ASG 800, ASG 1000, ASG 1200, ASG 1500, ASG 2000** (20 HP /15 kW/ až 150 HP /110 kW/)

Průmyslové drtiče jsou vhodné pro zmenšení velikosti odpadových materiálů všeho druhu, např. plastových odřezků, pryže a také pro rozdrncení pevných a tvrdých materiálů určených k následné granulaci.



Model	Motor kW	Vstupní pracovní otvor	Hydraulický přítlak - motor kW	Rychlost otáček rotoru
ASG 600	15 / 18,5 / 22 (20 / 25 / 30 HP)	600 x 1000 mm	1,5 (2 HP)	70 - 120 ot./min.
ASG 800	22 / 30 / 37 (30 / 40 / 50 HP)	850 x 1250 mm	1,5 (2 HP)	70 - 120 ot./min.
ASG 1000	37 / 45 / 55 (50 / 60 / 75 HP)	1100 x 1250 mm	1,5 - ca. 4 (2 - 5 HP)	70 - 120 ot./min.
ASG 1200	45 / ca.50 / ca.70 (60 / 70 / 90 HP)	1200 x 1250 mm	ca. 4 (5 HP)	70 - 120 ot./min.
ASG 1500	55 / ca.70 / ca.80 (75 / 90 / 110 HP)	1609 x 1500 mm	ca. 4 (5 HP)	70 - 120 ot./min.
ASG 2000	ca.80 / ca.95 / 110 (110 / 130 / 150 HP)	2135 x 1500 mm	ca. 4 (5 HP)	70 - 120 ot./min.



KATALOGOVÝ LIST

firma je certifikována



Adresa: BOCO PARDUBICE machines, s.r.o., Čepí 1, CZ - 533 32 Pardubice • IČO: 60931655 • DIČ: CZ60931655
Tel.: +420 466 797 011 • Fax: +420 466 797 012 • E-mail: info@boco.cz • <http://www.boco.cz>

Model	Průměr rotoru (mm)	Počet rotorových nožů (ks)	Váha (kg)
ASG 600	400	32	2400
ASG 800	400	42	2800
ASG 1000	400	54	3200
ASG 1200	400	74	3700
ASG 1500	500	84	5100
ASG 2000	500	104	5500

DRTIČ	ASG 1000
Motor	50 - 75 HP (37 - 55 kW) / 380 V
Rozměry	1100 mm x 1250 mm
Rotor	Ø 400 mm
Řezné nástroje	54 ks
Velikost výstupu na síť	Ø 50 mm (popř. dle dohody od Ø 20 do 80 mm)
Váha stroje	3200 kg
Rozměry stroje	2310 mm x 2100 mm x 2365 mm
Výkon	1000 kg/hod.
Hydraulický motor - přídlek	2-5 HP / 380V
Ložiska	"TMK"(USA)
Převodovka	"FRANDEN"(Germany)
Řemeny	"PIX"(UK)
Nože	materiál: D2 (spec.) / 58-60 HRC

DRTIČ	ASG 1500
Motor	75 - 110 HP (55 - ca.80 kW) / 380 V
Rozměry	1609 mm x 1500 mm
Rotor	Ø 500 mm
Řezné nástroje	84 ks
Velikost výstupu na síť	Ø 50 mm (popř. dle dohody od Ø 20 do 80 mm)
Váha stroje	5100 kg
Rozměry stroje	2800 mm x 2630 mm x 3080 mm
Výkon	1500 kg/hod.
Hydraulický motor	5 (3) HP / 380V
Ložiska	"TMK"(USA)
Převodovka	"FRANDEN"(Germany)
Řemeny	"PIX"(UK)
Nože	materiál: D2 (spec.) / 58-60 HRC



KATALOGOVÝ LIST

firma je certifikována



Adresa: BOCO PARDUBICE machines, s.r.o., Čepčí 1, CZ - 533 32 Pardubice • IČO: 60931655 • DIČ: CZ60931655
Tel.: +420 466 797 011 • Fax: +420 466 797 012 • E-mail: info@boco.cz • <http://www.boco.cz>

ŘADA G 50 – MLÝN SE STŘEDNÍM VÝKONEM

Mlýn střední velikosti se středním výkonem. Vhodný zejména pro díly vyráběné rotačním natavováním, vstřikováním a vyfukováním jako jsou láhve, kontejnery a předlisky o střední tloušťce stěny. Příkon motoru je v rozsahu od 30 kW do 75 kW.

SEKACÍ KOMORA

Sekací komory jsou vyráběny výhradně z vysoce kvalitní kalené oceli. Před montáží obrobeny a broušeny na CNC strojích. Dlouhá životnost je zajištěna použitím silnostěnných materiálů vysoké jakosti, které přicházejí do styku se zpracovávanými materiály. Provedení stroje umožňuje jeho snadnou demontáž, úpravu a údržbu.

Mlýny řady G50 specifikace:



ROTOR

Rotory jsou vyráběny z oceli s vysokou pevností v tahu, jsou pečlivě vyvažovány a tím přizpůsobeny pro stálý, klidný a bezzávadný provoz. Provedení rotoru umožňuje snadné vyjmutí a nastavení nožů (tvaru „V“) pro následnou výrobu mleté drtě konzistentní velikosti.

VSAZENÉ NOŽE

Nože jsou vyrobeny z chromové oceli D-2 a D-3 a následně kaleny a přebroušeny tak, aby byly maximálně odolné proti lámavosti a s maximální životností ostří na řezné hraně. Provedení umožňuje jejich snadnou výměnu.

VÝSTUPNÍ SÍTO

Výstupní síta s dlouhou životností jsou vyráběna z trubek o vysoké pevnosti nebo tvářena z vysoce jakostních plechů, dle požadavků. Výstupní síta jsou nabízena s otvory různých velikostí, které určují velikost frakce mleté drtě a jejich snadné vyjmutí i instalace umožňuje přestavení stroje dle Vašich potřeb.



KATALOGOVÝ LIST

firma je certifikována



Adresa: BOCO PARDUBICE machines, s.r.o., Čepí 1, CZ - 533 32 Pardubice • IČO: 60931655 • DIČ: CZ60931655
Tel.: +420 466 797 011 • Fax: +420 466 797 012 • E-mail: info@boco.cz • <http://www.boco.cz>

ŘEMENICE

Řemenice jsou na hřídeli rotoru uloženy pomocí kuželovitých pouzder pro maximální bezpečnost. Setrvačnost masivních pevných řemenic zajišťuje stejný a spolehlivý provoz, zatímco kuželovitá pouzdra zajišťují snadnou údržbu.

NÁSYPKA

Násypky jsou zakryty zvukově izolačními materiály ke snížení hladiny hluku. Dvojitě clony u vstupního otvoru zabraňují zpětnému vyhazování zpracovávaného materiálu během provozu.

Model	Motor kW	Sekací komora	Otočné nože	Pevné nože	Otvory výstupního síta
G 50/60	30 - 55	500 x 600 mm	6/10	2/4	6-25 mm
G 50/80	30 - 55	500 x 800 mm	6/10	2/4	6-25 mm
G 50/100	37 - 75	500 x 1000 mm	6/10	2/6	6-25 mm
G 50/120	37 - 75	500 x 1200 mm	6/10	2/4	6-25 mm

Model	Výkon kg/hod	Plnicí dmychadlo kW	Váha (kg)	Otvor vstupní násypky (mm)	Délka x Šířka x Výška (mm)
G 50/60	400 – 500	3	2500	600 x 500	1625 x 1445 x 2070
G 50/80	400 – 600	4 - 5,5	3000	800 x 500	1625 x 1645 x 2070
G 50/100	500 – 700	5,5 - 11	3500	1000 x 500	1625 x 1845 x 2070
G 50/120	500 – 1000	7,5 - 15	4000	1200 x 500	1625 x 2045 x 2070

P r o h l á š e n í

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom(a) povinnosti informovat o této skutečnosti TUL. V tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 5. Května 2012

Podpis:

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. Applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 25. Května 2012

Signature: